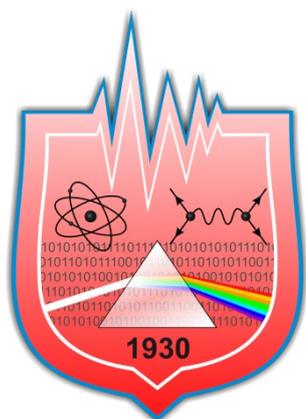


# АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ



Гомель  
ГГУ имени Ф. Скорины  
2022

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины»

## **АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ**

XI Республиканская научная конференция  
студентов, магистрантов и аспирантов,  
посвященная 100-летию со дня рождения  
академика Белого Владимира Алексеевича

(Гомель, 21 апреля 2022 года)

Сборник материалов

В двух частях

Научное электронное издание

Гомель  
ГГУ им. Ф. Скорины  
2022

**ISBN 978-985-577-769-5**

**ISBN 978-985-577-770-1 (Ч. 1)**

**ISBN 978-985-577-771-8 (Ч. 2)**

© Учреждение образования  
«Гомельский государственный  
университет имени  
Франциска Скорины», 2022

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины»

## **АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ**

XI Республиканская научная конференция  
студентов, магистрантов и аспирантов,  
посвященная 100-летию со дня рождения  
академика Белого Владимира Алексеевича

(Гомель, 21 апреля 2022 года)

Сборник материалов

В двух частях

Часть 1

Научное электронное издание

Гомель  
ГГУ им. Ф. Скорины  
2022

**ISBN 978-985-577-769-5**  
**ISBN 978-985-577-770-1 (Ч. 1)**

© Учреждение образования  
«Гомельский государственный  
университет имени  
Франциска Скорины», 2022

УДК 530

**Актуальные вопросы физики и техники** [Электронный ресурс] : XI Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов, посвященная 100-летию со дня рождения академика Белого Владимира Алексеевича (Гомель, 21 апреля 2022 г.) : сборник материалов : в 2 ч. Ч. 1 / М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Электронные текстовые данные (15,4 МБ). – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2022. – Системные требования: IE от 11 версии и выше или любой актуальный браузер, скорость доступа от 56 кбит. – Режим доступа: <http://conference.gsu.by>. – Заглавие с экрана.

В сборнике рассматриваются актуальные общетеоретические и прикладные проблемы физики и техники.

Издание состоит из двух частей. В первой части опубликованы доклады и сообщения по итогам регистрации на конференцию. В опубликованных трудах представлены исследования новых материалов и технологий, даются рекомендации по использованию их в промышленности, медицине и народном хозяйстве; обсуждаются вопросы моделирования физических процессов, а также проблемы, посвященные методике преподавания физики и информатики в школе и вузе (в частности, особое внимание уделяется использованию мультимедийных и компьютерных технологий, проектному обучению); вопросы использования информационных технологий, в том числе сетевых технологий и СУБД в научных исследованиях, процессах и системах передачи, хранения и защиты информации. Статьи участников конференции размещены в алфавитном порядке.

Издание адресуется научным работникам, преподавателям вузов, аспирантам, магистрантам, студентам, учителям школ, гимназий, колледжей.

Материалы публикуются в соответствии с оригиналом, подготовленным редакционной коллегией, при участии издательства.

#### **Редакционная коллегия:**

Д. Л. Коваленко (главный редактор),  
А. Л. Самофалов (заместитель главного редактора),  
А. А. Середа (ответственный секретарь),  
А. С. Руденков, В. Е. Гайшун, Г. Ю. Тюменков,  
Е. А. Дей, А. В. Ворувев, П. В. Бычков, Е. Б. Шершнев, С. В. Шалупаев

ГГУ имени Ф. Скорины  
246028, Гомель, ул. Советская, 104,  
тел. (232) 50-49-03, 50-38-59  
<http://www.gsu.by>

© Учреждение образования  
«Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины», 2022

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

### ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

**Хахомов С. А.** – ректор ГГУ имени Ф. Скорины, д-р физ.-мат. наук, доцент

### ЧЛЕНЫ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА

**Семченко И. В.** – проректор по учебной работе ГГУ имени Ф. Скорины, чл.-кор. НАН Беларуси, д-р физ.-мат. наук, профессор

**Демиденко О. М.** – проректор по научной работе ГГУ имени Ф. Скорины, д-р техн. наук, профессор

**Никитюк Ю. В.** – проректор по воспитательной работе ГГУ имени Ф. Скорины, канд. физ.-мат. наук, доцент

**Крук А. В.** – первый проректор ГГУ имени Ф. Скорины, канд. биол. наук, доцент

**Рогачев А. В.** – директор научно-исследовательского физико-химического института ГГУ имени Ф. Скорины, чл.-кор. НАН Беларуси, д-р хим. наук, профессор

**Сердюков А. Н.** – профессор кафедры оптики ГГУ имени Ф. Скорины, д-р физ.-мат. наук, профессор, чл.-кор. НАН Беларуси

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

### ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

**Максименко Н. В.** – профессор кафедры теоретической физики ГГУ имени Ф. Скорины, д-р физ.-мат. наук, профессор

### ЗАМ. ПРЕДСЕДАТЕЛЯ

**Коваленко Д. Л.** – декан факультета физики и информационных технологий ГГУ имени Ф. Скорины, канд. физ.-мат. наук, доцент

### ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:

**Дерюжкова О. М.** – заместитель декана факультета физики и информационных технологий ГГУ имени Ф. Скорины по научной работе, канд. физ.-мат. наук, доцент

**Самофалов А. Л.** – заместитель декана факультета физики и информационных технологий ГГУ имени Ф. Скорины, канд. физ.-мат. наук, доцент

**Гайшун В. Е.** – заведующий кафедрой оптики ГГУ имени Ф. Скорины, канд. физ.-мат. наук, доцент

- Тюменков Г. Ю.** – заведующий кафедрой теоретической физики ГГУ имени Ф. Скорины, канд. физ.-мат. наук, доцент
- Воруев А. В.** – заведующий кафедрой АСОИ ГГУ имени Ф. Скорины, канд. техн. наук, доцент
- Руденков А. С.** – заведующий кафедрой радиофизики и электроники ГГУ имени Ф. Скорины, канд. техн. наук, доцент
- Шершнев Е. Б.** – заведующий кафедрой общей физики ГГУ имени Ф. Скорины, канд. техн. наук, доцент
- ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ**
- Серета А. А.** – заместитель декана факультета физики и информационных технологий ГГУ имени Ф. Скорины по НИРС

## **СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ**

### **1. «Новые материалы и технологии»**

#### ***Председатели:***

Руденков Александр Сергеевич, канд. техн. наук, доцент.

Гайшун Владимир Евгеньевич, канд. физ.-мат. наук, доцент.

### **2. «Моделирование физических процессов»**

#### ***Председатели:***

Тюменков Геннадий Юрьевич, канд. физ.-мат. наук, доцент.

Дей Евгений Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент.

### **3. «Автоматизация исследований»**

#### ***Председатели:***

Воруев Андрей Валерьевич, канд. техн. наук, доцент.

Бычков Павел Валерьевич, канд. физ.-мат. наук, доцент.

### **4. «Методика преподавания физики и информатики. Образовательная робототехника»**

#### ***Председатели:***

Шершнев Евгений Борисович, канд. техн. наук, доцент.

Шалупаев Сергей Викентьевич, канд. физ.-мат. наук, доцент.

# ПОРЯДОК РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

21 апреля 2022 г.

**10<sup>00</sup>–12<sup>00</sup>** – открытие конференции, пленарное заседание – корпус 5, ауд. 2-11 (ул. Советская, 102).

**12<sup>00</sup>–15<sup>00</sup>** – работа секций (формат – онлайн видеоконференция, возможность презентации своего доклада).

## Регламент

Доклады на пленарном заседании	–	до 20 минут
Доклады и сообщения в секциях	–	до 10 минут
Участие в дискуссиях	–	до 5 минут

## СЕКЦИИ

1. «**Новые материалы и технологии**»
2. «**Моделирование физических процессов**»
3. «**Автоматизация исследований**»
4. «**Методика преподавания физики и информатики. Образовательная робототехника**»

## ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

1. **Демиденко Олег Михайлович**, д-р техн. наук, профессор, проректор по научной работе.

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».

### Открытие конференции

2. **Дерюжкова Оксана Михайловна**, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры теоретической физики, заместитель декана по НИР.

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».

### Жизнь и деятельность Белого Владимира Алексеевича

## **Школа для молодых ученых**

1. **Семченко Алина Валентиновна**, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры радиофизики и электроники, ведущий научный сотрудник ПНИЛ ПМ.

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».

**Сетевая магистратура на факультете физики и ИТ: подготовка высококвалифицированных специалистов в области ядерной и радиационной безопасности**

2. **Лю Имин (LIU YIMING)**, аспирант факультета физики и информационных технологий.

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».

Научный руководитель – М. А. Ярмоленко, д-р техн. наук, доцент.

**Композиционные полимерсодержащие покрытия с регулируемыми поверхностными свойствами, осаждаемые из активной газовой фазы**



## **Белый Владимир Алексеевич**

Ректор учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины» (1969–1973), академик, доктор технических наук, профессор, Заслуженный изобретатель БССР, Заслуженный деятель науки и техники БССР, лауреат Государственной премии БССР в области науки и техники, автор научного открытия, награжден орденами Ленина, Октябрьской Революции, Трудового Красного Знамени, медалями.

Подробнее [по ссылке](#)

## **Секция 1 «Новые материалы и технологии»**

### **Председатели:**

Руденков Александр Сергеевич, канд. техн. наук, доцент,

Гайшун Владимир Евгеньевич, канд. физ.-мат. наук, доцент.

**А. А. Аксамит, В. И. Божко, Ю. С. Ковалевский**  
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. С. Антонов**, канд. техн. наук, доцент

### **СОСТАВЫ И ТЕХНОЛОГИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТОВ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ С ПОВЫШЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ И АДГЕЗИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Ключевым фактором развития современного машиностроения является создание функциональных изделий из композиционных материалов на основе полимерных матриц с повышенными параметрами эксплуатационных характеристик и технического ресурса, которые получают с помощью технологий, относящихся к числу наиболее перспективных технологий V и VI технологических укладов, формирующих постиндустриальную экономику, – нанотехнологий. Особый интерес представляют наноконкомпозиты, промышленно выпускаемые на основе отечественного сырья, способствующие реализации основных принципов Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы, в том числе импортозамещения.

Проведенный обзор литературных источников в области разработки композиционных материалов на основе полимерных матриц, содержащих наноразмерные объекты различного состава, строения и технологии получения, свидетельствует о перспективности выбранного направления исследования, заключающегося в реализации принципа многоуровневого модифицирования, обуславливающего процессы трансформирования структуры наноконпозиционного материала на различных уровнях организации – межмолекулярном, надмолекулярном и межфазном – при формировании изделий конкретного функционального назначения, в том числе покрытий [[1–3](#)].

Цель данного исследования состояла в разработке составов и технологии композиционных материалов на основе промышленных термопластов, модифицированных низкоразмерными частицами различного состава, строения и дисперсности, реализующими эффект наносостояния для триботехнических покрытий шлицевых соединений карданного вала.

В качестве объектов исследования выступали наноконпозиционные материалы на основе промышленных термопластов с повышенными параметрами триботехнических и адгезионных характеристик.

Для получения наноконпозитов на основе термопластичных матриц класса полиамидов (полиамид 6 производства филиала «Завод Химволокно» ОАО «Гродно Азот») использовали продукты электроэрозионной обработки (ПЭЭО) инструментальных сталей 4Х5МФС, 40Х13, 40Х графитовым электродом МПГ 7 в количестве до 1 мас. %.

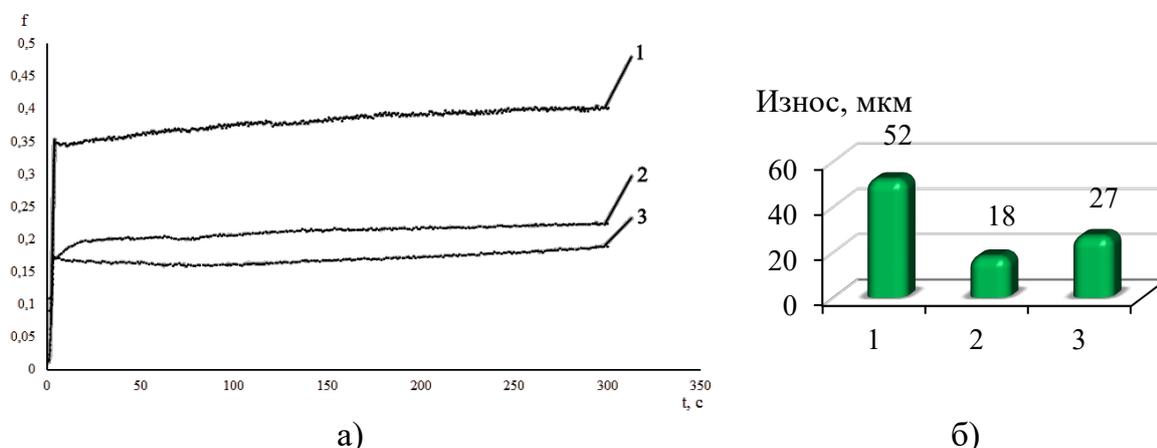
Перспективным направлением практической реализации предложенных решений по разработке составов, включающих в состав продукты электроэрозионной обработки инструментальных сталей графитовым электродом, и технологии нанесения функциональных покрытий является замена дорогостоящего импортного аналога Rilsan на основе полиамида 11 производства Arkema (Франция) при формировании защитных и триботехнических покрытий шлицевых втулок, применяемых при комплектации карданных валов автомобилей МАЗ.

Проведенные исследования показали, что при модифицировании композитов на основе полиамидов высокодисперсными частицами углеродсодержащих или силикатсодержащих компонентов достигается технически значимый эффект повышения параметров деформационно-прочностных и коррелирующих с ними адгезионных и триботехнических характеристик.

Результаты триботехнических испытаний, представленные на рисунке 1, показали, что введение продуктов электроэрозионной обработки в количестве 1 мас. % в матричный компонент ПА6 оказывает благоприятное модифицирующее действие на коэффициент трения и износостойкость функциональных композиционных покрытий.

Измерения адгезионных характеристик полимерных покрытий свидетельствуют о том, что наилучшими значениями адгезионной прочности обладает полиамид 11 и композит на основе полиамида 6 с модифицирующей добавкой в виде продуктов электроэрозионной обработки в количестве 1 мас. %.

По параметрам триботехнических и адгезионных характеристик разработанные составы композитов превосходят по аналогичным параметрам импортный аналог – полиамида ПА11 (Rilsan).



1 – ПА 6; 2 – ПА 6 (99 мас. %) + ПЭЭО (1 мас. %); 3 – ПА 11  
 а) зависимость коэффициента трения от времени;  
 б) величина линейного износа

Рисунок 1 – Триботехнические характеристики покрытий из композиционных материалов на основе алифатических полиамидов

Эффективность действия модификаторов подобного типа обусловлена их фазовой структурой, химическим составом и морфологией, включающей наноразмерные области, обеспечивающие особое энергетическое состояние, способствующее реализации принципа многоуровневого модифицирования полимерных матриц.

Работа выполнена в рамках задания 8.4.1.4 «Механизмы направленного структурообразования функциональных термопластичных композитов при энергетических и механических воздействиях» подпрограммы «Многофункциональные и композиционные материалы» ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии» на 2021-2025 годы.

## Литература

1. Довгяло, В. А. Композиционные материалы и покрытия на основе дисперсных полимеров. Технологические процессы / В. А. Довгяло, О. Р. Юркевич. – Минск : Навука і тэхніка, 1992. – 256 с.

2. Кравченко, В. И. Карданные передачи: конструкции, материалы, применение / В. И. Кравченко, Г. А. Костюкович, В. А. Струк ; под ред. В. А. Струка. – Минск : Тэхналогія, 2006. – 410 с.

3. Антонов, А. С. Композиционные материалы на основе смесей термопластов для повышения эксплуатационного ресурса элементов технологического оборудования : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.09 / А. С. Антонов. – Минск, 2018. – 200 с.

**Н. Н. Алифировец, А. С. Корольков**

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

## **ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОБЪЕМНОЙ ДОЛИ ВОДЫ В СИНТЕТИЧЕСКОМ МОТОРНОМ МАСЛЕ МАРКИ НАФТАН ПРЕМЬЕР 5W-40**

Известно, что содержание объемной доли воды в моторных маслах при эксплуатации механических транспортных средств не должно превышать величины от 0,03 % до 0,05 % от объема масла [1–4]. Повышенное содержание воды в моторном масле приводит к снижению защитных свойств масла из-за истощения моющих и диспергирующих присадок водой, вследствие чего возрастают износы деталей цилиндрово-поршневой группы (ЦПГ) и ускоряется загрязнение двигателя [1–4].

Цель настоящей работы – исследование изменения содержания воды в синтетическом моторном масле марки Нафтан Премьер SAE 5W-40 в зависимости от величины пробега легкового транспортного средства, оборудованного бензиновым двигателем внутреннего сгорания. Методика проведения исследований приведена в научных работах [1–4].

Содержание воды в моторном масле определяли с использованием сертифицированного оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ 2477–2014 «Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды» [5]. Метод основан на исследовании образца, путем нагревания его в колбе с обратным холодильником в присутствии несмешивающегося с водой растворителя, который перегоняется совместно с водой, присутствующей в образцах [1–5].

В таблице 1 представлены результаты исследования по определению объемной доли воды в синтетическом моторном масле марки

SAE 5W40 при эксплуатации легкового транспортного средства с бензиновым двигателем в зависимости от величины пробега.

Можно видеть (таблица 1), что следы воды присутствуют в исследуемом образце синтетического моторного масла при пробеге автомобилем до 6 тыс. км. Далее наблюдается увеличение объемной доли воды и после пробега транспортным средством 9 тыс. км составляет значение 0,01 % от объема моторного масла. Показано (таблица 1), что после пробега 9 тыс. км до 15 тыс. км наблюдается существенное увеличение объемной доли воды до 0,033 % (в 3,3 раза).

При пробеге от 15 тыс. км до 18 тыс. км содержание объемной доли воды в исследуемом моторном масле возрастает с 0,033 % до 0,051 %. В среднем, в интервале пробега транспортного средства от 12 тыс. км до 18 тыс. км повышение объемной доли воды составляет величину равную 0,0086 %, что свидетельствует о линейном изменении исследуемого эксплуатационного показателя моторного масла и характерно для «естественного старения» исследуемого моторного масла марки Нафтан Премьер SAE 5W-40.

Таблица 1 – Результаты определения объемной доли воды в синтетическом моторном масле марки Нафтан Премьер SAE 5W-40

Пробег транспортного средства, тыс. км	Объемная доля воды в исследуемом моторном масле, %
исходное значение	следы
3	следы
6	следы
9	0,010
12	0,025
15	0,033
18	0,051

Причиной появления воды в моторном масле, очевидно, является попадание топлива. Данное мнение коррелирует с результатами проведения компьютерной диагностики узлов двигателя автомобиля, которая показала неисправность работы система впрыска топлива [1–4].

По результатам проведенного исследования можно утверждать, что в интервале пробега транспортным средством от 12 тыс. км до 15 тыс. км содержание объемной доли воды в исследуемом моторном масле превышает минимально допустимый предел (0,003 %), после пробега легковым транспортным средством 18 тыс. км наблюдается превышение максимально допустимого значения (0,018 %).

Таким образом, можно утверждать, что замену исследуемого моторного масла марки Нафтан Премьер SAE 5W-40 в целях ресурсосбережения двигателя и его частей следует целесообразно проводить после 12 тыс. км пробега.

## Литература

1. Алифировец, Н. Н. Исследования содержания воды в синтетическом моторном масле Shell марки 5w40 / Н. Н. Алифировец, А. С. Корольков, О. Д. Заболотный // Актуальные вопросы физики и техники: X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов: материалы : в 2 ч. Ч. 1. (Гомель, 22 апр. 2021 г.) / ГГУ им. Ф. Скорины ; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 14–16.

2. Маркевич, Я. Я. Исследование изменения содержания воды в синтетическом моторном масле марки Motul SAE 5W30 в зависимости от пробега транспортного средства / Я. Я. Маркевич, Р. А. Линько, О. Д. Заболотный // Актуальные вопросы физики и техники: X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов : материалы: в 2 ч. Ч. 1. (Гомель, 22 апр. 2021 г.) / ГГУ им. Ф. Скорины ; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 157–160.

3. Пивоварчик, А. А. Исследование эксплуатационных показателей полусинтетических моторных масел марки SAE 10W40, используемых в бензиновых двигателях / А. А. Пивоварчик, А. К. Гавриленя, О. Д. Заболотный // Вестник БарГУ. Серия: Технические науки. – 2021. – № 1 (9). – С. 77–84.

4. Пивоварчик, А. А. Исследование эксплуатационных показателей синтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях легковых механических транспортных средств / А. А. Пивоварчик, А. С. Корольков, Н. Н. Алифировец // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Серыя 6, Тэхніка. – 2021. – Т. 11. – № 2. – С. 21–27.

5. Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды : ГОСТ 2477–2017. – Взамен ГОСТ 2477–65; введ. Респ. Беларусь 01.06.17. – Минск : Госстандарт, 2016. – 7 с.

**А. С. Астапкин**

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **Н. С. Винидиктова**, канд. техн. наук, доцент;

**И. В. Царенко**, канд. техн. наук, доцент

## **УПАКОВОЧНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ЛЕНТЫ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА**

Полимерные ленты находят все более широкое применение в качестве упаковочного материала благодаря их довольно высокой прочности на разрыв в сочетании с пластичностью и легкостью [1]. Упаковка полимерной лентой обеспечивает оптимальную сохранность груза при перевозке, погрузке-разгрузке и хранении. В отличие от стальной ленты, работа с полимерной обеспечивает высокую безопасность в плане травматизма и высокую культуру производства.

Технология формования длиномерных полимерных материалов специфична, поскольку базируется на свойствах присущих только полимерам – высокоэластического состояния, и предусматривает операции, преимущественно применяемые только в технологии этого класса материалов, прежде всего – ориентационную вытяжку [2]. Технологическая схема представлена на рисунке 1.

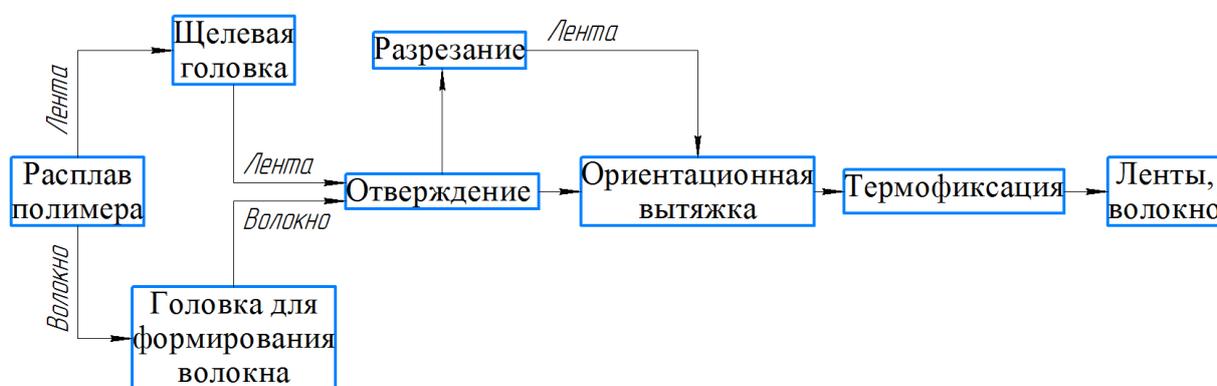
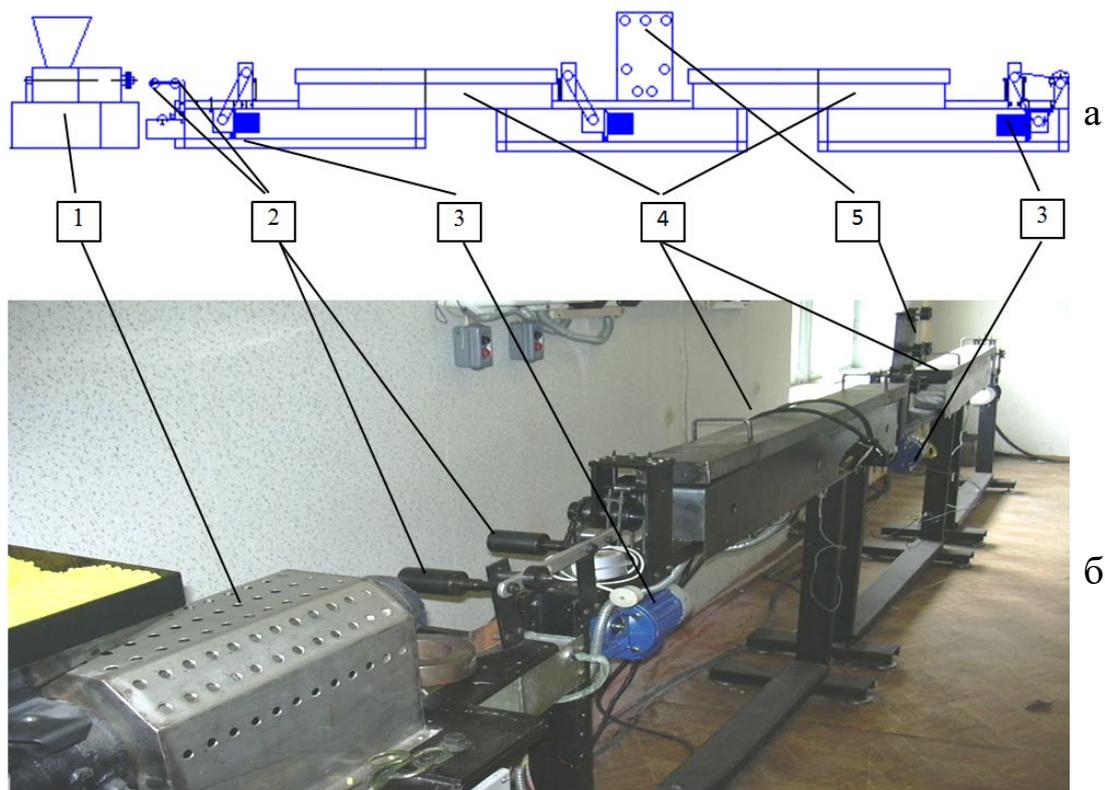


Рисунок 1 – Технологическая схема изготовления полимерных лент и волокон

В процессе вытяжки – операции увеличения длины заготовки с уменьшением площади ее поперечного сечения – волокна и ленты приобретают ориентированное состояние. Это специфическое состояние полимеров, при котором во всем объеме материала макромолекулярные цепи направлены преимущественно вдоль осей ориентации, задаваемых направлением вытяжки. Наиболее распространенные по-

лимерные ленты и волокна из полипропилена (ПП) и полиэтилентерефталата (ПЭТ).

Традиционный технологический процесс производства полимерных лент состоит из: щелевой экструзии пленки, охлаждения, разрезания на полосы, ориентационной вытяжки, термофиксации [3–4]. На рисунке 2 представлена схема (а) и фото лабораторной линии изготовления единичной полимерной ленты.



1 – экструдер с плоскощелевой фильерой, 2 – система роликов для передвижения ленты, 3 – электродвигатели, 4 – устройства нагрева, 5 – ролик, между которыми происходит вытягивание лент.

Рисунок 2 – Схема (а) и фото (б) лабораторной линии для изготовления полимерных лент

Принцип получения полимерных длиномерных изделий, в частности, лент и волокон, на производстве заключается в использовании высокой эффективной вязкости расплава. Рассмотрим принцип производства ПП лент на примере лабораторной линии. В данном устройстве используют горизонтальный одношнековый экструдер 1 с зональным обогревом (рисунок 2, б). Диаметр шнека составляет 20 мм, производительность 1–2 кг/ч. Распределение температуры по зонам в экструдере:  $T_1 \approx 205 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_2 \approx 210 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_3 \approx 215 \text{ }^\circ\text{C}$ . Экструдер

снабжен головкой для выдавливания ленты прямоугольного сечения, образуя полимерную ленту шириной 10 мм. Далее лента с помощью роликов 2, вращаемых электродвигателем 3 подается в устройство нагрева 4. Устройство нагрева представляет собой нагревательное устройство контактного типа. Оно состоит из теплоизолирующей крышки, которая служит для достижения равномерного распределения теплоты в полимерной ленте, и полированной металлической обогреваемой плиты, по которой скользит лента. Длина нагреваемого устройства в лабораторной линии составляет 1 м, температура плиты скольжения ограничена температурой размягчения материала ленты и находится в интервале 170 –180 °С. Выбор диапазона температур объясняется высокой подвижностью сегментов макромолекул в некристаллических областях матрицы полипропилена и возникновением вязкого течения полимера при температурах плавления. Далее лента подается на ролики 5, между которыми происходит интенсивное вытягивание пленочных лент. В изготовленных таким образом полимерных лентах возникают остаточные напряжения. Для снятия остаточных напряжений в лабораторной линии предусмотрено второе устройство нагрева 4, где ленты прогреваются до 100 °С. При повторном прогреве остаточные напряжения релаксируют. ПП ленты, получаемые по такой технологии, достигают прочности до 350 МПа.

Полимерная лента производится как в нашей стране, так и за рубежом, и в зависимости от производителя значительно отличается по качеству и ценам. Анализ основных факторов конкуренции показывает, что наиболее сильные позиции на рынке среди российских и белорусских производителей занимает белорусская компания ООО «Юни-тейп».

## Литература

1. Потапов, А. Е. Обзор рынка упаковочной ленты [Электронный ресурс] / Отраслевой портал UniPack.ru. – URL: <https://ref.unipack.ru/print/60/> – Дата доступа: 20.02.2022.

2. Технологические схемы и оборудование для получения волокон [Электронный ресурс] / Современные технологии производства – URL: <https://extxe.com/7108/tehnologicheskie-shemy-i-oborudovanie-dlja-poluchenija-volokon/> – Дата доступа: 04.03.2022.

3. Процессы и оборудование для получения нитей специального назначения [Электронный ресурс] / Современные технологии производства. – URL: <https://extxe.com/7330/processy-i-oborudovanie-dlja-poluchenija-nitej-specialnogo-naznachenija/>. – Дата доступа: 04.03.2022.

4. Оборудование и характеристики [Электронный ресурс] / Официальный сайт ООО «АзияТехноИмпорт». – URL: <http://atimao.ru/node/100>. – Дата доступа: 03.03.2022.

**А. А. Астапченко**  
(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)  
Науч. рук. **Е. В. Иноземцева**, ассистент

## **КОМПАС 3D ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ**

В настоящее время 3D моделирование является основным элементом в исследованиях и разработках. Любые задачи по инженерной графике, выполненные с применением компьютерных программ, решаются быстро, точно и просто. В 3D выполняется как исследование и проектирование геометрической модели, так и построение чертежа. Построение чертежа в САПР также упрощается и требует меньшей подготовки. Однако основой технического черчения является курс начертательной геометрии, который преподается во всех технических вузах. Умение выполнять чертежи и решать различные практические технические задачи в компьютерных графических системах возможно только на базе начертательной геометрии, поскольку программное обеспечение основано на теоретических положениях, понятиях и способах решения геометрических задач, изучаемых исключительно в начертательной геометрии [1]. Решение первых трех задач требует знания теоретических положений начертательной геометрии и умения выполнять умственные операции абстрагирования и анализа элементов изображаемого предмета, а также умения по заданному чертежу создавать пространственный образ изображенного предмета, что требует навыка выполнять операции графического анализа изображений и графического их синтеза для создания цельного представления о предмете [2, 3].

Применение твердотельного моделирования возможно при изучении темы «ПОЗИЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ» в начертательной геометрии. Данная тема может быть максимально визуализирована с применением компьютерных технологий. Рассмотрим возможности визуализации на конкретном примере решения задачи по пересечению плоскостей. Это позволит представить возможности комбинирования ком-

пьютерных технологий с классическими способами построения линии пересечения плоскостей [4].

Модель, подготовленная в системе Компас 3D, представляет собой точный цифровой 3D-прототип изделия, с помощью которого можно проверять конструкцию в действии параллельно с ведением конструкторских работ. Применение цифровых прототипов для конструирования и визуализации обеспечивает эффективный обмен информацией, сокращение количества ошибок [5].

Цель работы: разработка методики выполнения практической работы по теме пересечения плоскостей.

Рассмотрим наиболее часто встречающийся в различных задачах вариант – проекции плоскостей накладываются. Построение проекций линии пересечения сводится здесь к построению точек пересечения двух любых прямых одной плоскости с другой плоскостью, а именно  $\alpha(ABC)$  и  $\beta(KFE)$ , проекции которых на чертеже накладываются [6].

Решение этой задачи в двумерной плоскости представлено на рисунке 1. Линия пересечения построена по точкам N и M. Определена видимость плоскостей относительно построенной линии пересечения N–M.

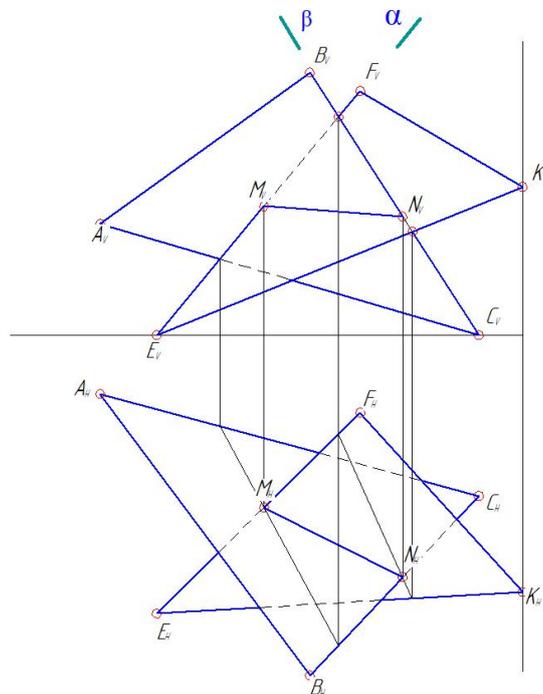


Рисунок 1 – Пересечение плоскостей в двумерном пространстве

Построение этой же задачи в программе КОМПАС 3D показано на рисунке 2.

В результате получаем построенное по правилам оформления чертежа изображение линии пересечения заданных плоскостей.

Полученная практическая работа по начертательной геометрии позволяет использовать возможности компьютерных технологий для усиления наглядности абстрактно-теоретической дисциплины.

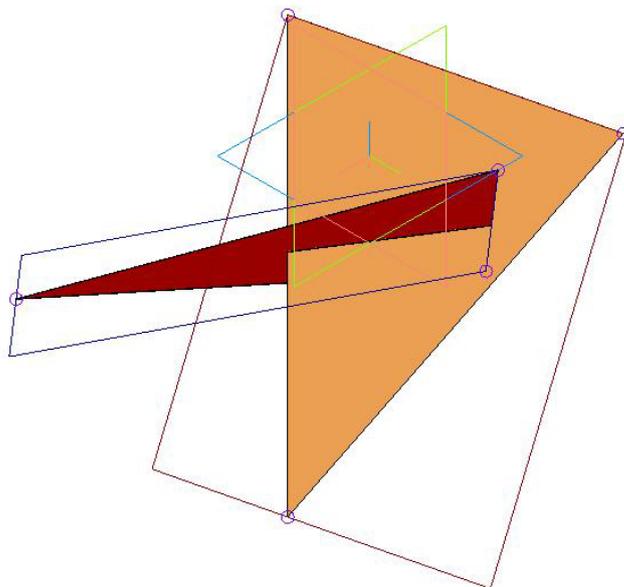


Рисунок 2 – Пересечение плоскостей в Компас 3D

Решив данную задачу, можно сделать вывод о том, что возможны различные способы решения классических графических задач с применением Компас 3D, что способствует перспективным изменениям в изучении графических дисциплин.

## Литература

1. Корягина, О. М. Построение линий пересечения поверхностей второго порядка в системе объемного моделирования. Autodesk Inventor / О. М. Корягина // Cloud of Science. 2016. – Т. 3, № 1. – С.60–70.
2. Иванов, Г. С. Начертательная геометрия : учебник. / Г. С. Иванов. – 3-е изд. – М. : ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012 – 340 с.
3. Геометрические преобразования в начертательной геометрии и инженерной графике / В. И. Серегин [и др.] // Геометрия и графика. – 2015. – Т. 3, № 2. – С. 23–28.

4. Корягина, О. М. Использование трехмерного компьютерного моделирования в курсе начертательной геометрии / О. М. Корягина // Главный механик. – 2016. – № 2. – С. 47–50.

5. Хуснетдинов, Т. Р. Влияние 3D моделирования на курс инженерной графики / Т. Р. Хуснетдинов, Л. Г. Полубинская, А. С. Увайсова // Инновационное развитие. – 2018. – № 5(22). – С. 51–55.

6. Жирных, Б. Г. Начертательная геометрия : учебник / Б. Г. Жирных, В. И. Серегин, Ю. Э. Шарикян; под общ. ред. В. И. Серегина. – 1-е изд. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – 168 с.

**А. А. Астапченко**

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **Е. В. Иноземцева**, ассистент

## **КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Как показали исследования последнего времени, рациональное сочетание в композитах различных полимеров позволяет получать материалы с новым уровнем свойств. Смеси полимеров, по аналогии со сплавами металлов позволят и в будущем решать многочисленные материаловедческие задачи [1, 2].

При создании смесевых материалов важным положением является термодинамическая и технологическая совместимость полимеров, определяющая их взаимодействие и свойства композитов. Для усиления взаимодействия используют различные приемы модифицирования одного или обоих компонентов, вводят в состав композиций третий полимерный компонент или другие органические или неорганические вещества. В тех случаях, когда материалы предназначены для получения покрытий, на первое место выступают вопросы адгезии композитов к субстратам различной природы.

В современной технике для подобных целей широкое распространение нашел термопластичный полимер – политетрафторэтилен (ПТФЭ, фторопласт-4) [3]. Сочетая в себе комплекс ценных свойств, таких как: исключительную химическую стойкость в различных реагентах, высокие антифрикционные свойства, теплостойкость и др. он, казалось бы, наилучшим образом отвечает поставленным требовани-

ям. Однако такие факторы, как: невысокая прочность, ползучесть под действием нагрузки, сложность технологии переработки в изделия и др. ограничивает области применения материала.

Для улучшения механических свойств фторопласта-4, придания ему прочности, износоустойчивости, теплопроводности и т.д. разработан ряд композиций на его основе, предложены различные конструкции деталей и узлов трения, сочетающего его с металлами и другими материалами [4]. Однако, во-первых, химическая инертность фторопласта создает проблемы обеспечения его прочной адгезионной связи с другими материалами, а во-вторых, процессы переработки его в изделия требуют высоких температур и давлений, то есть связаны с большими затратами труда и энергии.

Целью работы является разработка рецептуры нового композиционного материала, обладающего высокой химической стойкостью, износостойкостью и способностью к переработке высокопроизводительными методами.

Традиционные методы улучшения антифрикционных свойств полимеров за счет введения наполнителей, выполняющих функции твердых смазок, для полиамидов оказались недостаточно эффективным. Основной причиной потери работоспособности является увеличение адгезионной составляющей силы трения, являющейся результатом взаимодействия активных (амидных) групп макромолекул полимера и поверхности металлического контртела. Наиболее эффективными модификаторами полиамидов оказались полиолефины, в частности полиэтилены высокой и низкой плотности.

Технико-экономическая эффективность модифицирования полиамидов полиэтиленами оказалась столь значительной, что большинство материалов антифрикционного назначения на основе полиамидов в своих рецептурах содержат в качестве основного компонента полиэтилен.

Одной из первых была предложена композиция, содержащая порошкообразный полиамид и антифрикционную добавку, в которую дополнительно был введен полиэтилен [6]. Композиция предназначалась для получения антифрикционных покрытий с улучшенными свойствами, в частности стойкостью к истиранию и пониженным значением коэффициента трения.

Дополнительного уменьшения коэффициента трения и повышения устойчивости материала к истиранию при повышенных нагрузках удалось достичь за счет введения в известную композицию дополнительного полимерного компонента – пентапласта, при этом содержа-

ние ингредиентов устанавливалось в следующих соотношениях (масс.%): полиамид 50–90, полиэтилен 5–20, антифрикционные добавки в виде порошков твердых минеральных смазок 0,5–5 и пентапласт 4,5–25 [4]. В качестве антифрикционной добавки композиция дополнительно содержит графит, дисульфид молибдена, окись кадмия и др.

Работоспособность и износостойкость материала повышается за счет введения в базовую композицию термостабилизаторов и ее наполнения некоторыми твердыми минеральными добавками. В частности, предложена полимерная композиция, которая дополнительно содержит стабилизатор (неозон А), трифенилфосфат и фосфогипс при следующем соотношении компонентов (мас.%): полиамид – 65–80, полиэтилен – 10–15, неозон А – 0,05–0,075, трифенилфосфат – 5–10, фосфогипс – 1–10 [5].

Эффекта снижения коэффициента трения достигают введением в состав композиции смазочного масла. Масло удерживается пористой структурой материала, которая создается за счет введения в состав композиции поглощающих веществ. Так известна композиция, содержащая полиамид и полиэтилен, которая дополнительно содержит смазочное масло, торф и йод при следующем соотношении компонентов: полиамид 60,5–78,4; полиэтилен низкой плотности 6–9; смазочное масло 8–14; торф 11–16; йод 0,2–0,5 [6]. Йод в данном составе выполняет функцию термической стабилизации полиамида.

Композиционные составы на основе ПА-6, содержащие в качестве компонента полиэтилен, работоспособны в температурном диапазоне от – 30 до + 120°С.

## Литература

1. Горяинова, А. В. Фторопласты в машиностроении / А. В. Горяинова, Г. К. Божков, М. С. Тихонова – М. : Машиностроение, 1971. – 232 с.
2. Кулезнев, В. Н. Смеси полимеров / В. Н. Кулезнев – М.: Химия, 1980. – 304 с.
3. Липатов, Ю. С. Межфазные явления в полимерах / Ю. С. Липатов. – Киев : Наукова думка, 1980. – 260с.
4. Миронович, Л. Л. Новые композиционные покрытия антифрикционного назначения на основе полиамидов / Л. Л. Миронович, О. Р. Юркевич // Новые износостойкие полимерные материалы фрик-

ционного и антифрикционного назначения, их применение в промышленности. – Л. : ЛДНТП, 1980. – С. 71–74.

5. Семенов, А. П. Металло-фторопластовые подшипники / А. П. Семенов, Ю. Э. Савинский. – М. : Машиностроение, 1976. – 192 с.

6. Полимеры в узлах трения машин и приборов / Под ред. А. В. Чичинадзе. – М. : машиностроение, 1988. – 328 с.

**А. Г. Бердиев**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Н. Н. Федосенко**, канд. техн. наук, доцент

## **ОПТИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ**

Вакуумный синтез покрытий за счет распыления мишеней, изготовленных из оксидов металлов или кремния, является одним из основных методов формирования оптических покрытий. В настоящее время для просветления оптики широко используется электронно-лучевой метод формирования многослойных покрытий на основе оксидов [1, 2]. Задачей просветляющих покрытий является расширение рабочего спектрального диапазона и уменьшение отражения от поверхностей оптических элементов. Так при формировании покрытий, работающих в широком спектральном диапазоне, включающем ультрафиолетовую, видимую и ближнюю инфракрасную часть спектра, присутствуют некоторые трудности с подбором материала, который должен обладать необходимыми значениями показателя преломления, быть химически устойчивым, стойким к воздействию внешней атмосферы.

Цель данной работы исследование спектральных свойств многослойного покрытия на основе оксидов циркония и кремния для увеличения пропускания оптической подложки.

Многослойные покрытия  $[\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2]_7$  формировались на вакуумной установке ВУ-1А, оснащенной источником электронно-лучевого испарения УЭЛИ-1 и встраиваемой системой спектрального (широкополосного) оптического контроля серии IRIS (ИРИС) компании ЭссентОптикс (Республика Беларусь). Осаждение покрытий осуществлялось при с максимальным ускоряющим напряжением 12 кВ и током эмиссии от 15 до 150 мА при остаточном давлении в камере  $6 \cdot 10^{-3}$  Па. В качестве исходных материалов в работе использовались стандарт-

ные промышленно-выпускаемые мишени на основе двуокиси кремния  $\text{SiO}_2$ , окиси циркония  $\text{ZrO}_2$ . Количество чередующихся слоев составило 14. В качестве подложек использовали оптическое стекло марок К8 и КВ.

При исследовании оптических свойств покрытий использовали спектрофотометр Photon RT (Essent Optics) предназначенный для измерения спектральных характеристик отражения, пропускания и оптической плотности в поляризованном свете в диапазоне длин волн от 200 до 4000 нм.

На рисунке 1 приведены спектры пропускания поляризованного излучения при различном угле падения на поверхность чистых подложек

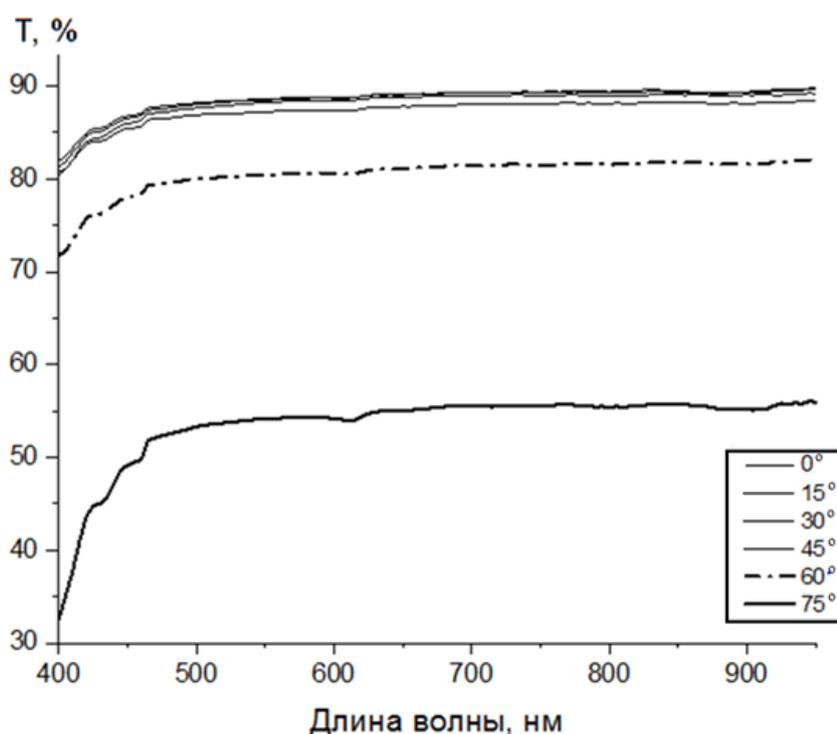


Рисунок 1 – Спектры пропускания чистой подложки на основе стекла К8 при различных углах падения поляризованного излучения

На рисунках 2, 3 приведены спектры пропускания неполяризованного и поляризованного излучения для 14-слойных покрытий  $[\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2]_7$ , осажденных на различные подложки из стекла К8 и кварца.

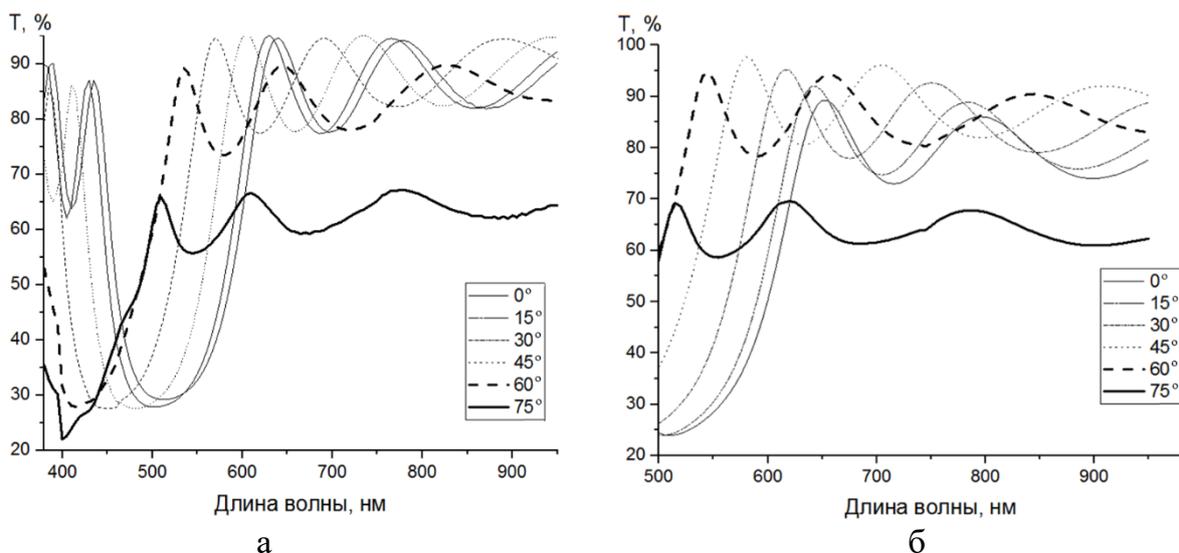


Рисунок 2 – Спектры пропускания: а – неполяризованного излучения и б – поляризованного излучения при различных углах падения излучения к поверхности многослойного покрытия на подложке из стекла К8

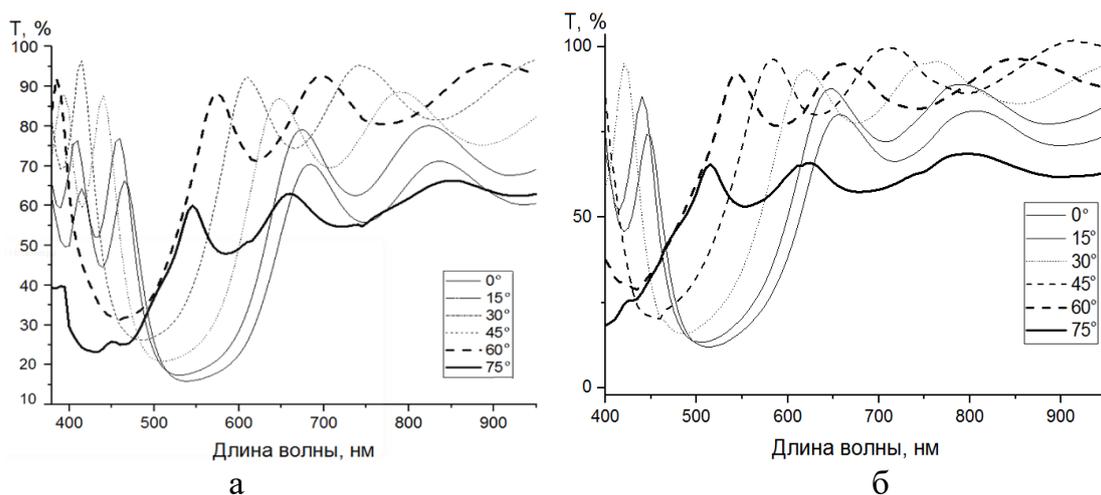


Рисунок 3 – Спектры пропускания: а – неполяризованного излучения и б – поляризованного излучения при различных углах падения к поверхности многослойных покрытий, осажденных на подложки из кварца

На основе анализа полученных спектров пропускания поляризованного излучения чистых подложек и подложек с нанесенным 14-слойным покрытием, установлено, что 14-слойное покрытие  $[\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2]_7$  обладает просветляющими свойствами – происходит увеличение пропускающей способности в среднем на 10 %. Также при работе в поляризованном свете происходит увеличение среднего коэффициента пропускания примерно на 5 % по сравнению с работой оптической системы в неполяризованного свете. На основании спек-

тров пропускания многослойных покрытий, нанесенных на подложки различного типа и изображенных на рисунках 2, 3, установлено, что максимальная степень пропускания наблюдается при угле падающего излучения  $60^\circ$ , при этом в области 500–550 нм она достигает значения 98 %, а при угле падения равном  $75^\circ$  максимумы пропускания смещаются в коротковолновую область и при длинах волн 480–550 нм коэффициент пропускания достигает значения 70 %.

## Литература

1. Изучение пленок оксида кремния и оксида гафния для создания просветляющих покрытий / Н. Р. Чарыкулыева [и др.] // Молодежь в науке. – 2016 : сборник материалов Международной конференции молодых ученых; редкол. : В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск, 2017. – С. 355–359.

2. ZrO<sub>2</sub> thin films and ZrO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> optical reflection filters deposited by sol–gel method / Q. Zhang [et al.] // Materials Letters. – 2000. – Vol. 45. – P. 311–314.

**А. В. Будько, А. Д. Вильчик, Т. О. Бакун**  
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. С. Антонов**, канд. техн. наук, доцент

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ СОЗДАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ СОХРАННОСТЬ ТРАНСПОРТИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ**

В современных условиях функционирования социальных систем наблюдается постоянно возрастающая роль грузоперевозок, в которых приоритетной задачей является обеспечение сохранности и безопасности транспортируемого объекта [1].

Все виды транспортировки различных грузов нуждаются в доказательстве неприкосновенности транспортируемых объектов. Таким доказательством могут стать средства пломбирования и индикации, обеспечивающие ограничение доступа к материальным ценностям или служащие свидетельством попытки вскрытия, нарушения условий транспортировки и хранения. Такие охранные устройства могут

устанавливаться на крытые автомобильные фургоны, железнодорожные вагоны, контейнеры и цистерны. Также допускается использование пломб для ограничения доступа к отдельным грузовым местам. Практика показывает, что пломбирование увеличивает скорость обработки грузов, сокращает временные и финансовые затраты, позволяет следить за грузом на всем пути следования и в значительной степени дисциплинирует обслуживающий персонал. Доставка товаров из Европы, Азии и других регионов мира с предварительным пломбированием зачастую становится единственным способом сохранить высокое качество доставляемой потребителю продукции, что обуславливает перманентную необходимость совершенствования пломбировочных устройств, разработки новых видов силовых и индикаторных, высокопрочных, самозапирающихся пломб, способных сохранить целостность и обеспечить высокую безопасность груза.

В целях предотвращения несанкционированного доступа сторонних лиц к транспортируемому грузу и обеспечения его сохранности при грузоперевозках широко применяют специальные пломбы различных конструкций, выполненные из металлических и полимерных материалов. Особый интерес для современных транспортно-логистических комплексов представляют пломбы, изготовленные из композиционных полимерных материалов как традиционными методами литья под давлением и экструзии, так и современными методами аддитивного производства [2].

Целью данного исследования являлась разработка уникальной конструкции индикаторной пломбы, обеспечивающей сохранность транспортируемых объектов, с применением средств компьютерного моделирования и методов аддитивного производства.

Для трехмерной визуализации и имитационного моделирования объекта исследования применяли пакет прикладных компьютерных программ SolidWorks 2019 и встроенный модуль для инженерных расчетов Simulation на базе метода конечных элементов.

Создание прототипа объекта исследования осуществляли на базе 3D-принтера FlashForge Dreamer, реализующего основные принципы аддитивного производства, основанные на послойном наращивании материала (технология FDM – Fused Deposition Modelling).

Пломбировочное устройство – это приспособление одноразового использования с запирающим механизмом, созданное для индикации несанкционированного доступа. Каждая пломба, во избежание копирования, должна быть уникальной. Это достигается наличием маркировки: цифрового заводского знака, буквенного кода, цвета, наличием

логотипа компании. Всем пломба́м присущи черты, делающие их снятие, повторную установку или подмену без видимых следов вскрытия практически невозможным. Пломбы изготавливаются таким образом, чтобы снятие их непременно приводило к оставлению ясно видимых следов на их материале (как визуально, так и с применением специальных приборов и способов исследования), а снятие без оставления следов было бы практически неосуществимо.

Нами предложена конструкция (рисунок 1), состоящая из двух частей: корпуса и вставки-фиксатора (запирающего элемента). Корпус выполнен прозрачным и цельнолитым, что обеспечивает беспрепятственный контроль целостности внутренней части изделия, а выбранный материал, обеспечит его целостность, даже под действием высокой нагрузки. Конструкция самого фиксатора обеспечивает жесткость крепления и невозможность его извлечения из корпуса.

Анализ напряженно-деформированного состояния запирающего элемента (вставки-фиксатора) индикаторной пломбы показал, что разработанная конструкция полностью соответствует техническим требованиям данной категории изделий. При исследовании к модели применяли нагрузку в  $10 \text{ Н/м}^2$  на каждый шип запирающего элемента с целью имитации усилия при установке пломбы. В качестве материала объекта исследования применяли полиамид ПА6, который обладает необходимым комплексом параметров деформационно-прочностных и триботехнических характеристик.

Результаты виртуальных испытаний отображены в виде эпюр максимальных напряжений по Мизесу на рисунке 2.

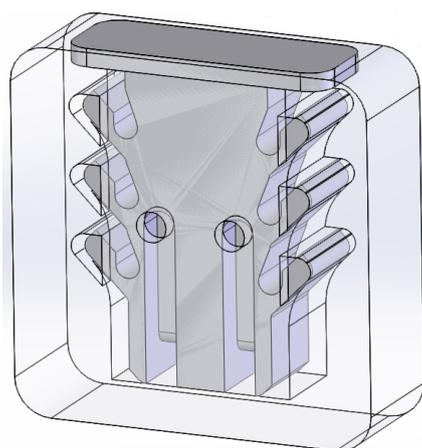


Рисунок 1 – Трехмерная модель индикаторной пломбы в сборе

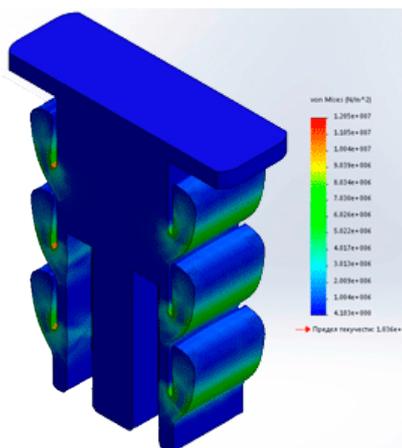


Рисунок 2 – Максимальные напряжения по Мизесу вставки-фиксатора индикаторной пломбы

В качестве материала для 3d-печати элементов индикаторной пломбы применяли ударопрочную техническую термопластическую смолу на основе сополимера акрилонитрила с бутадиеном и стиролом (АБС-пластик). После создания прототипа была проведена проверка работоспособности индикаторной пломбы. Полученные результаты соответствуют установленным требованиям.

Таким образом, разработанная конструкция индикаторной пломбы является эффективным средством обеспечения безопасности и сохранности транспортируемых объектов.

## Литература

1. Карбанович, И. И. Международные автомобильные перевозки : учеб. пособие / И. И. Карбанович. – Минск : Юнипак, 2002. – 219 с.
2. Чижик, С. А. Перспективы развития технологических комплексов аддитивного синтеза композиционных материалов и формообразования изделий / С. А. Чижик, М. Л. Хейфец, С. А. Филатов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2014. – № 4. – С. 68–74.

**Вань Сюеминь, П. В. Клочко, Д. В. Нахват**  
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. С. Антонов**, канд. техн. наук, доцент

## **КОНСТРУКЦИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ИНЪЕКТОРА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИЗ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ ХИТИНОВЫЕ ВОЛОКНА**

В условиях проведения специальных операций и боевых действий возможны различные виды поражения личного состава, которые требуют применения специальных препаратов (антидотов) непосредственно в полевых условиях (в зоне учений, боевых действий и т.п.). Наиболее эффективным методом применения специальных препаратов является инъекция в пораженную область с использованием специальных элементов – инъекторов.

Актуальной проблемой создания инъекторов специального назначения является выбор материала и технологии его изготовления. Анализ литературных источников по проблемам создания функциональных материалов, сочетающих параметры деформационно-

прочностных и биохимических характеристик в заданном диапазоне значений, указывает на перспективность исследований в области разработки нанокпозиционных материалов на основе термопластичных матриц [1–3]. Эффективным направлением модифицирования полимерных композитов является введение в состав полимерной матрицы частиц природного происхождения или органического синтеза – хитозана, целлюлозы, слоистых силикатов, обладающих выраженным бактерицидным эффектом.

Объектами исследования являлись конструкция отечественного инъектора для введения функциональных компонентов в организм человека в полевых (в том числе, специальных) условиях, материалы и технологии изготовления.

С целью обеспечения высокой устойчивости к воздействию ударных нагрузок и возможности многократного применения разработана отечественная конструкция инъектора, представленная на рисунке 1, которая позволяет вводить специальные препараты (антидоты, лекарственные препараты, стимуляторы и т.п.) непосредственно в полевых условиях при проведении специальных операций и боевых действий.

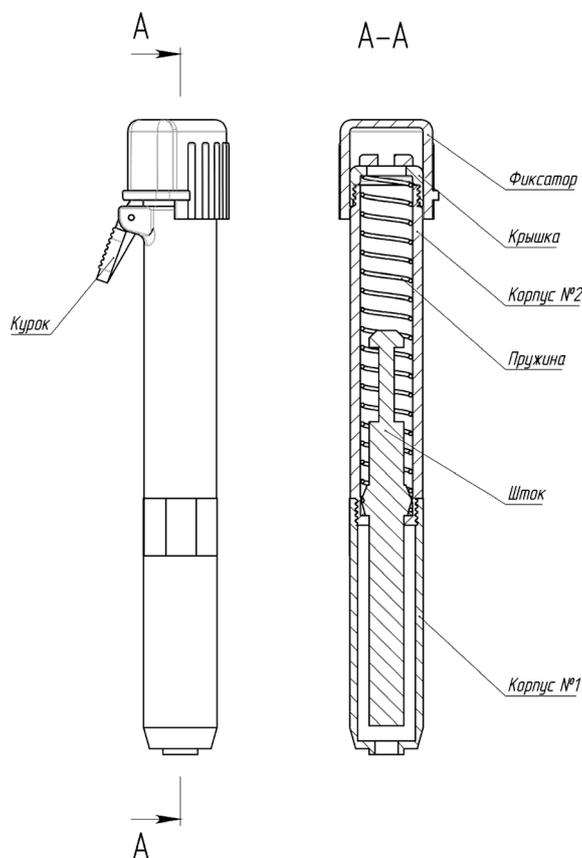


Рисунок 1 – Разработанная конструкция инъектора

Отличительной особенностью конструктивного исполнения инжектора является возможность многократного применения, повышенная устойчивость к воздействию ударных нагрузок, бактерицидность элементов, уменьшающая вероятность инфицирования в полевых условиях применения.

Для изготовления элементов инжектора разработан состав композиционных материалов на основе полиамида 6 для изделий контактирующих с пищевыми продуктами, производимого на филиале «Завод Химволокно» ОАО «Гродно Азот» по ТУ РБ 500048054.037-2002, пластифицированного 10%-ым водным раствором полимера на основе амидов талловой канифоли и продукта поликонденсации адипиновой кислоты с диэтилентриамином (полиамидной смолой производства ООО «ПромХимТехнологии»), с добавлением хитиновых волокон в количестве до 1 мас. %, обладающий повышенными параметрами прочности и низкой деформативностью. В качестве модификатора использовали дисперсные фрагменты хитиновых волокон, полученные по оригинальной технологии Института химии и физики полимеров Академии наук Республики Узбекистан (г. Ташкент) под руководством академика, д-ра хим. наук, профессора Рашидовой С. Ш.

В качестве технологического подхода для получения функциональных элементов инжектора был выбран метод термомеханического совмещения, состоящий в совокупном термическом и механическом воздействии на смесь компонентов при вязко-текучем состоянии матрицы в материальном цилиндре литейной машины со шнековым пластикатором. Этот технологический подход легко реализуем на промышленных предприятиях, не требует дорогостоящего и специального оборудования.

Исследования параметров эксплуатационных характеристик разработанной конструкции отечественного инжектора из предложенного состава нанокпозиционного материала показали его превосходство по параметрам деформационно-прочностных характеристик и устойчивости к воздействию ударных нагрузок по сравнению с существующими аналогами. Разработанный состав и технология нанокпозиционного материала обладает выраженной бактерицидностью, способствующей ингибированию или подавлению развития неблагоприятных биохимических процессов в элементах инжектора.

Исследования выполнены при финансовой поддержке БРФФИ в рамках реализации международного проекта T20ПТИ-005 при сотрудничестве с Пекинским технологическим институтом.

## Литература

1. Авдейчик, С. В. Фактор наносостояния в материаловедении полимерных нанокомпозитов / С. В. Авдейчик, В. А. Струк, А. С. Антонов. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Acad. Publ., 2017. – 468 с.
2. Наноматериалы и нанотехнологии для машиностроения : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования / В. А. Струк [и др.] ; под ред. В. А. Струка, В. А. Гольдаде. – Минск : РИВШ, 2021. – 512 с.
3. Методологические принципы модифицирования термопластичных матриц с целью повышения параметров эксплуатационных характеристик / А. С. Антонов [и др.] // Горная механика и машиностроение. – 2020. – № 1. – С. 101–108.

**В. В. Гайдук, О. Я. Илькевич**  
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Скаскевич**, канд. техн. наук, доцент

### **СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ФТОРКОМПОНЕНТАМИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ**

Огромное значение при эксплуатации транспорта придается снижению материальных затрат, связанных с процессами трения и изнашивания, которые уменьшают эффективность технологических процессов, ухудшают работу машин и механизмов, увеличивают энергетические потери [1]. Снижение трения позволяет уменьшить потребление энергии и продлить срок службы деталей, работающих в условиях повышенных нагрузок. Как известно, минимизацию потерь на трение и износ трибосопряжений обеспечивают три основные составляющие: конструкция трибосопряжения, морфология сопряженных поверхностей и эффективность смазочного материала. Совершенствованию смазочных материалов, подбору и прогнозированию эксплуатационных свойств уделяют особое внимание, поскольку, как показывает практика, зачастую качеством применяемого смазочного материала определяется работоспособность механизма в целом. В современном машиностроении при создании узлов трения наибольшую значимость приобретают полимерные материалы и композиты на их основе [2]. Среди наиболее применяемых полимерных материалов яв-

ляется политетрафторэтилен (далее – ПТФЭ), трудногорючий материал с самой высокой плотностью среди всех фторопластов. Имеет малую пористость, высокую гидрофобность, устойчивость к воздействию температур. Способен выдержать нагревание до 260°C без изменения свойств. По своим антифрикционным характеристикам ультрадисперсный фторопласт не имеет аналогов. По химической пассивности и устойчивости к концентрированным кислотам и щелочам он превосходит золото. ПТФЭ – превосходный диэлектрик, выдерживающий низкие и высокие температуры и механические воздействия [3].

Цель исследования состояла в разработке состава пластичной смазки, содержащей регенерированные продукты промышленной переработки ПТФЭ, способствующей оптимальной работе узла трения и удовлетворяющей критерию минимизации износа пары трения.

Для разработки составов композиционных материалов в качестве базовой пластичной смазки была использована «ЛИТОЛ-24» [4]. В качестве модификатора использовали дисперсные частицы регенерированного ПТФЭ. Отходы переработки фторопласта измельчали на установке лабораторной дезинтеграции по технологии криогенного дробления. С помощью набора вибросит отделяли необходимую фракцию порошка менее 80 мкм. Компоненты композиционной смазки перемешивали в лопастном смесителе до получения однородного состава. Для проведения исследований применяли пластичную смазку с различным содержанием регенерированного фторопласта.

Применение модификаторов на основе мелкодисперсного фторопласта в узлах трения приводит к образованию на контактирующих поверхностях плакирующих пленок из политетрафторэтилена, способных оказывать выраженное антифрикционное и противоизносное действие.

Введение в пластичный смазочный материал порошков твердой смазки ПТФЭ приводит к снижению коэффициента трения и повышению нагрузочной способности. Кроме того, введение регенерата ПТФЭ в смазку ЛИТОЛ-24 приводит к увеличению температуры каплепадения, что вызывает повышение температурного предела эксплуатации смазочного состава. Произведенные экономические расчеты показали, что использование разработанного состава пластичной смазки, модифицированной регенерированным ПТФЭ в количестве 3 мас. %, позволяет достичь экономического эффекта за счет увеличения эксплуатационного ресурса, а также уменьшить затраты, связанные с отказами в гарантийный период эксплуатации.

Разработанные составы композиционных материалов можно применять в тяжело нагруженных узлах трения, например, в крестовинах карданных валов.

### Литература

1. Савицкий, В. Я. Оценка эффективности замены традиционных узлов трения на полимерные / В. Я. Савицкий // Новые промышленные технологии. – 1999. – Вып. 4–5 (291–292). – С. 65–72.
2. Бартенев, Г. М. Трение и износ полимеров / Г. М. Бартенев, В. В. Лаврентьев. – Л. : Химия, 1972. – 239 с.
3. Козырев, Ю. П. Влияние особенностей структуры композиционных материалов на основе политетрафторэтилена на снижение нагруженности матрицы / Ю. П. Козырев, Е. Б. Седакова // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2010. – № 2. – С. 40–45.
4. Сеницын, В. В. Подбор и применение пластичных смазок / В. В. Сеницын. – М. : Химия, 1974. – 416 с.

**И. М. Головач**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Д. Л. Коваленко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СИНТЕЗА И ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЩИТНЫХ СИЛИКАТНЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПОКРЫТИЙ, СОДЕРЖАЩИХ ДИОКСИД ТИТАНА И ГРАФЕНА**

Золь-гель метод – это технология материалов, в том числе наноматериалов, включающая получение золя с последующим переводом его в гель, то есть в коллоидную систему, состоящую из жидкой дисперсионной среды, заключенной в пространственную сетку, образованную соединившимися частицами дисперсной фазы [1]. На сегодняшний день является очень распространенным жидкостным методом синтеза различных наноматериалов.

На рисунке 1 представлена схема процесса, отражающая технологию получения пленкообразующих растворов на основе титана для получения пористых покрытий.

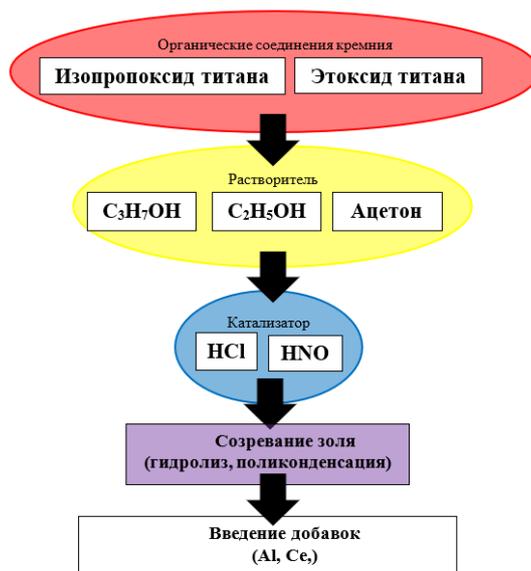


Рисунок 1 – Методика приготовления пленкообразующих растворов титана для получения пористых покрытий

Данные пленкообразующие растворы были приготовлены следующим образом:

1. МТЭОС и ТЭОС заливали растворителем и перемешивали
2. Затем добавляли  $H_2O_d$  с заранее введенной в нее соляной либо азотной кислотой. Нагревание растворов было при температуре  $30^\circ C$ . Для созревания растворов их выдерживали при температуре окружающей среды ( $22 \pm 2$ )  $^\circ C$  в течении 2 –3 дней.

3. Температура зольей опускалась до комнатной температуры после окончания процесса гидролиза.

4. Готовый золь наносили на алюминиевую подложку методом окунания (погружения). После нанесённого метода на поверхности подложки образовывалась пленка покрытия.

5. Образцы подвергались высокотемпературной обработке при  $300^\circ C$ . При данной температуре происходит полное уплотнение пленок и их остекловывание.

\*ТЭОС – тетраэтилортосиликата, МТЭОС – метилтриэтоксисилан

### **Результаты:**

Данные пленки, покрытые этоксидом титана с Се, были просканированы с помощью атомно-силового микроскопа. Сканирование показало, что в титановых покрытиях образуется пористая структура, характеризующаяся спиралевидными цепочками длиной  $1 \div 2,5$  мкм, составленные из пор со средним поперечным размером  $d \approx 94,7$  нм.

## Литература

1 Воробьева, Н. А. Почему золь–гель метод столь популярен? [Электронный ресурс] / Н. А. Воробьева, С. И. Беззубов, А. А. Ефимов [и др.] // Официальный сайт нанотехнологического сообщества «Нанометр». – URL: [http://www.nanometer.ru/2010/10/17/zol\\_gel\\_219461.html](http://www.nanometer.ru/2010/10/17/zol_gel_219461.html) – Дата доступа: 16.02.2022.

**И. Н. Громов**

(БГУ, Минск)

Науч. рук. **В. К. Ксенович**, канд. физ.-мат. наук

### **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИБРИДНЫХ ПЛЕНОК ИЗ УГЛЕРОДНЫХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ НАНОТРУБОК**

Введение углеродных и неорганических нанотрубок, обладающих уникальными характеристиками, в полимерный материал существенно улучшает свойства последнего, что, в свою очередь, обуславливает широкий спектр возможных применений подобных наноконструкций, в том числе в электронике, оптоэлектронике и сенсорике [1, 2].

В данной работе в качестве объектов исследования были выбраны гибридные пленки на основе однослойных углеродных нанотрубок (ОУНТ), обладающих металлическими свойствами, и многослойных нанотрубок из дисульфида вольфрама ( $WS_2$ -МСНТ) с полупроводниковыми свойствами. Особенностью таких пленок является возможность модификации их свойств путем изменения соотношения между металлической и полупроводниковой компонентами [2].

Для изготовления гибридных пленок смешивались суспензии 1%-ого водного раствора поверхностно-активного вещества додецилсульфата натрия, содержащего смеси углеродных и неорганических нанотрубок в следующих объемных соотношениях: 1 мл ОУНТ : 10 мл  $WS_2$ -МСНТ, 2 мл ОУНТ : 10 мл  $WS_2$ -МСНТ, 5 мл ОУНТ : 10 мл  $WS_2$ -МСНТ. В работе использовались ОУНТ диаметром 0,8–1,2 нм и длиной 100 нм – 1 мкм.  $WS_2$ -МСНТ имели диаметр 20–180 нм и длину 1–30 мкм. Для получения однородного распределения нанотрубок суспензии подвергались ультразвуковой обработке. Оставшиеся пучки и агломераты ОУНТ, и каталитические частицы были удалены при центрифугировании суспензии. Сами пленки были получены путем

фильтрации суспензий через пористые мембраны, размер пор которых составляет 0,22 мкм. Для возможности сравнения результатов измерений была также получена пленка, содержащая только ОУНТ.

Ранее [3] были проведены измерения и последующий анализ температурных зависимостей сопротивления гибридных пленок в диапазоне температур 2–300 К. По результатам анализа экспериментальных данных было установлено, что в области низких температур (ниже 20–30 К) температурные зависимости сопротивления могут быть аппроксимированы в рамках модели прыжковой проводимости с переменной длиной прыжка, которая проявляется при малом содержании углеродных нанотрубок в композите, наличии структурных дефектов, неупорядоченном расположении нанотрубок в массиве и т.д. В области же температур, превышающих 20–30 К, зависимости сопротивления пленок от температуры могут быть аппроксимированы в рамках модели флуктуационно-индуцированного туннелирования носителей заряда (ФИТНЗ), которая наблюдается в том случае, если в композитах с ОУНТ присутствуют контактные барьеры между отдельными нанотрубками. Температурная зависимость сопротивления образца в рамках данной модели описывается законом:

$$R(T) = R_0 \exp(T_1/(T+T_0)),$$

где параметры  $T_0$  и  $T_1$  определяются следующим образом:

$$T_0 = 8\varepsilon_0 h A V_0^{3/2} / (\pi^2 e^2 k_B (2m_e)^{1/2} w^2),$$

$$T_1 = 8\varepsilon_0 A V_0^2 / (e^2 k_B w),$$

где  $w$  – ширина туннельного барьера,  $A$  – площадь туннельного барьера,  $V_0$  – высота барьера,  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная,  $e$  – элементарный заряд,  $k_B$  – постоянная Больцмана,  $h$  – постоянная Планка,  $m_e$  – эффективная масса электрона. Таким образом, уменьшение проводимости гибридных пленок при увеличении содержания  $WS_2$ -МСНТ можно объяснить возрастанием роли контактных барьеров между ОУНТ.

В работе [3] для оценки усредненных значений величин высоты и ширины туннельных барьеров между ОУНТ, сделанной по результатам аппроксимации зависимостей сопротивления гибридных пленок от температуры  $R(T)$  в области высоких температур в рамках модели ФИТНЗ, предполагалось, что площадь туннельного барьера между ОУНТ равна площади поперечного сечения углеродной нанотрубки.

В данной же работе была произведена оценка значений высоты и ширины туннельных барьеров с учетом того, что площадь барьера зависит от взаимного расположения нанотрубок и может быть меньше площади поперечного сечения ОУНТ, когда туннелирование происходит между сегментами боковых поверхностей нанотрубок, близко расположенных между собой. Построены зависимости высоты и ширины барьеров от их площади, которые представлены на рисунке 1.

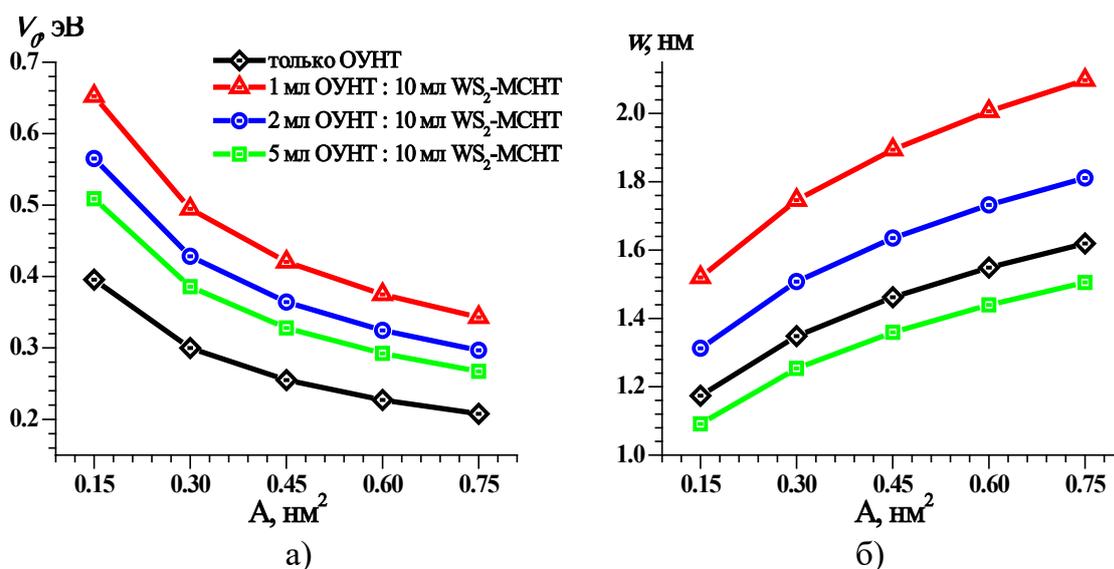


Рисунок 1 – Зависимости высоты (а) и ширины (б) туннельных барьеров между ОУНТ от площади барьеров

Полученные значения высоты и ширины туннельных барьеров лежат в физически приемлемых интервалах 0,21–0,65 эВ и 1,09–2,10 нм, соответственно. При этом установлено, что с увеличением площади туннельных барьеров их высота уменьшается, а ширина увеличивается.

Таким образом, проведенный анализ зависимостей сопротивления гибридных пленок из углеродных и неорганических нанотрубок от температуры  $R(T)$  подтверждает возможность использования модели флуктуационно-индуцированного туннелирования носителей заряда для характеристики их электрических свойств.

## Литература

1. Электрические характеристики полимерных композитов, содержащих углеродные нанотрубки / А. В. Елецкий [и др.] // УФН. – 2015. – Т. 185, № 3. – С. 225–270.

2. Электропроводность гибридных пленок из углеродных и неорганических WS<sub>2</sub>-нанотрубок / В. К. Ксеневиц [и др.] // Материалы и структуры современной электроники : сб. науч. тр. VII Междунар. науч. конф., посвящ. 50-летию каф. физики полупроводников и наноэлектроники, Минск, 12–13 окт. 2016 г. / редкол. : В. Б. Оджаяев (отв. ред.) [и др.]. – Минск : Изд. центр БГУ, 2016. – С. 314–317.

3. Комбинационное рассеяние света и механизмы электропроводности в гибридных пленках из углеродных и неорганических нанотрубок / В. К. Ксеневиц [и др.] // Материалы и структуры современной электроники : материалы IX Междунар. науч. конф., Минск, 14–16 окт. 2020 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол. : В. Б. Оджаяев (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2020. – С. 452–457.

**А. С. Гулинский, А. В. Попрукайло, А. Н. Лесун**

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. С. Антонов**, канд. техн. наук, доцент

## **СОСТАВЫ И ТЕХНОЛОГИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК ДЛЯ ТРИБОУЗЛОВ КАРДАННЫХ ВАЛОВ**

Для повышения параметров триботехнических характеристик деталей металлополимерных систем весьма актуальным направлением является разработка новых эффективных смазочных материалов. К перспективным способам реализации данного направления относят методы и технологии совершенствования составов смазочных материалов посредством введения в них различных по природе и химическому строению функциональных присадок, в том числе наноразмерных [1, 2].

Роль смазки в широко известных триботехнических системах (подшипники качения и скольжения, шарниры, зубчатые и др. передачи) в основном состоит в предохранении трущихся поверхностей от износа, задира и коррозионного воздействия окружающей среды. Наилучшими качествами в данном направлении обладают пластичные смазочные материалы по сравнению с жидкими [1]. Важнейшим компонентом пластичных смазок является загуститель (дисперсная фаза), частицы которого формируют структурный каркас или матрицу смазочных материалов и влияют практически на все их эксплуатационные свойства. В то же время анализ научно-технической и патент-

ной литературы показывает, что в формировании коллоидной структуры пластичных смазок весьма существенна роль малых количеств, так называемых модификаторов структуры. Особый научный и практический интерес в качестве модификаторов структуры представляют частицы различной природы, строения и технологии получения с нанометровой размерностью, например, алмазосодержащие продукты детонационного синтеза, частицы металлов, и модификаторы природного происхождения, способные к генерированию противоизносных пленок на поверхностях трения [3].

Цель исследования состояла в разработке составов и технологии композиционных материалов на базе пластичной смазки Литол-24, используемых для смазывания шарнирных узлов и шлицевых соединений карданных валов.

В качестве объекта исследований выступала комплексная литиевая пластичная смазка ИТМОЛ-150Н (ТУ ВУ 100029077.005-2006). Для улучшения эксплуатационных свойств пластичной смазки использовали шихту детонационного синтеза баллистических порохов (НП ЗАО «Синта», г. Минск) и углеродные нанотрубки (УНТ), полученные на каталитических поверхностях CVD-методом (Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, г. Минск).

Реологические характеристики образцов определяли на реовискзиметре Гепплера. Триботехнические характеристики определяли по схеме «три индентора – по неподвижному диску» на микротрибометре FT-2 при скорости скольжения  $V = 0,016$  м/с и нагрузке  $N = 20$  Н.

Результаты определения динамической вязкости представлены на рисунке 1.

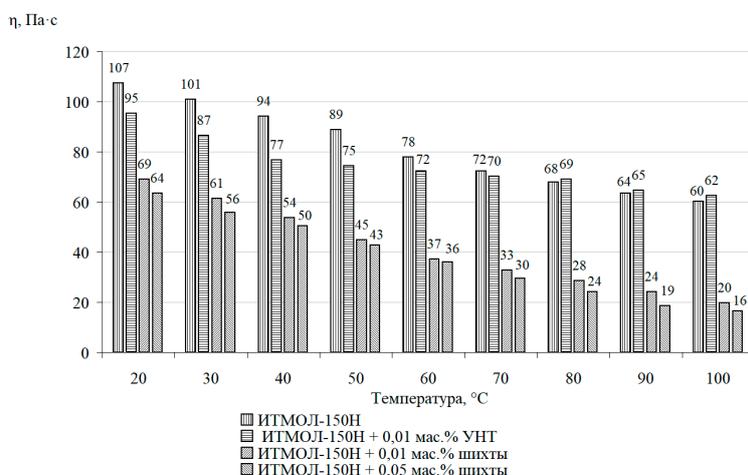
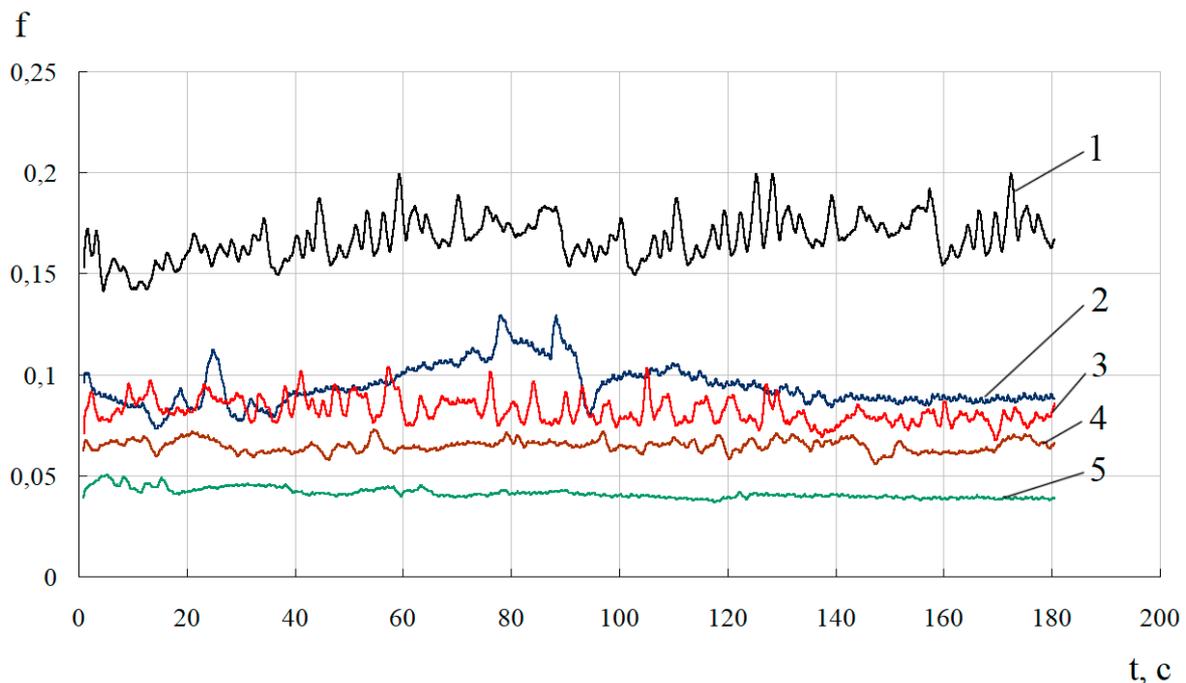


Рисунок 1 – Гистограмма изменения динамической вязкости от температуры смазочных материалов

Модельные триботехнические испытания разработанных составов пластичных смазок (рисунок 2) свидетельствуют о возможности увеличения эксплуатационного ресурса узлов карданных валов (шарнирных и шлицевых соединений) в 1,5–2,5 раза при одновременном снижении потерь на трение вследствие образования на контактных поверхностях разделительного слоя со свойствами знакопеременного переноса, выполняющего функцию «ингибитора изнашивания».

Разработанные составы пластичных смазок на базе ИТМОЛ-150Н с наноразмерными углеродсодержащими компонентами заданного состава и морфологии обеспечивают их служебные параметры, не уступающие лучшим зарубежным аналогам при существенно более низкой стоимости. Наномодификаторы на основе углеродсодержащих соединений разработаны отечественными производителями, что позволяет отказаться от применения импортных аналогов и ликвидировать технологическую зависимость от зарубежных производителей



- 1 – без смазки; 2 – в условиях смазки ИТМОЛ-150Н;
- 3 – в условиях смазки ИТМОЛ-150Н + 0,01 мас. % УНТ;
- 4 – в условиях смазки ИТМОЛ-150Н + 0,01 мас. % шихты;
- 5 – в условиях смазки ИТМОЛ-150Н + 0,05 мас. % шихты

Рисунок 2 – Зависимость коэффициента трения от времени для пары трения сталь 45 – ШХ 15

## Литература

1. Богданович, П. Н. Трение, смазка и износ в машинах : учебник / П. Н. Богданович, В. Я. Прушак, С. П. Богданович. – Минск : Тэхналогія, 2011. – 527 с.
2. Кравченко, В. И. Карданные передачи: конструкции, материалы, применение / В. И. Кравченко, Г. А. Костюкович, В. А. Струк ; под ред. В. А. Струка. – Минск : Тэхналогія, 2006. – 410 с.
3. Методология создания смазочных материалов с наномодификаторами / М. Люты [и др.] // Трение и износ. – 2002. – № 4. – С. 411–424.

**К. Д. Данильченко, К. А. Цыкунов**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. В. Семченко**, канд. физ.-мат. наук, доцент,  
**В. В. Сидский**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## СИНТЕЗ ZNO:Mg-ПЛЕНОК ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

### Введение

Одними из самых перспективных пленочных покрытий являются прозрачные проводящие оксидные покрытия, среди которых особое место занимают покрытия на основе оксида цинка. Повышенный интерес к этим покрытиям вызван уникальной комбинацией их оптических и электрофизических свойств. Оксид цинка обладает хорошей фоточувствительностью и имеет широкое технологическое применение, в частности, в фотоприемниках, коротковолновых полупроводниковых диодных излучателях (светоизлучающих диодах), тонкопленочных солнечных элементах, сенсорах газа, фотодетекторах и др. На данный момент по-прежнему остается актуальным вопрос о получении пленок оксида цинка с заданными функциональными характеристиками, способных найти широкое промышленное применение в устройствах оптоэлектроники [1].

### Методика

С использованием отдельного гидролиза компонентов получены покрытия на основе ZnO:Mg. Для получения исходного состава золя были взяты следующие реагенты: ZnAc, MgAc, 2-propanol, MEA (Monoethanolamine). Поскольку был использован метод отдельного гидролиза, в двух емкостях отдельно друг от друга были раство-

рены ZnAc и MgAc. Для этого в первую емкость был добавлен ZnAc в количестве 1,5 гр, предварительно размельченный в керамической ступке. Затем, для избегания образования комков смеси от стабилизатора реакции (MEA), было добавлено половина от объема растворителя – 5 мл изопропилового спирта. Далее был добавлен моноэтаноламин 0,43 гр и, после перемешивания, оставшийся объем спирта. Аналогично получен раствор магния.

Для полного растворения компонентов прекурсоры были помещены в ультразвуковую ванну на 15 минут.

Для завершения процесса гидролиза компоненты были выдержаны в течение суток. Итоговый золь получали путем смешивания компонентных составов в соотношении 1:5 (Zn:Mg). [2]

Золь наносился на подложку из кремния методом центрифугирования. Было нанесено 4 слоя. Произведено предварительное спекание слоев при температуре 300°C в течении 10 мин. После нанесения четвертого слоя проводили отжиг при температуре 500° С в течении 60 минут.

### Результаты исследования и обсуждение

На рисунке 1 представлены АСМ-изображения пленок ZnO и ZnO:Mg [3]. Видно, что введение магния в ZnO плёнку приводит к изменению топографии поверхности - увеличению размера частиц и повышению значения перепада высот.

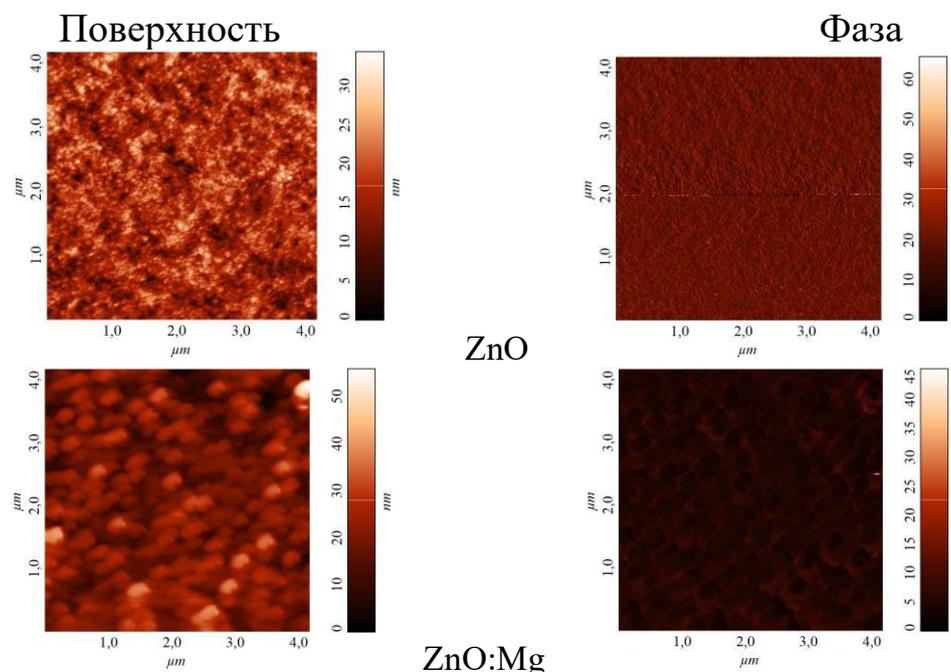


Рисунок 1 – Топография поверхностей покрытий ZnO и ZnO:Mg

## Заключение

Золь-гель методом были синтезированы покрытия на основе ZnO, легированные Mg. Установлена зависимость морфологии поверхности от содержания легирующей примеси в составе золь-гель пленок. АСМ анализ показал, что легирование ионов магния приводит к росту субшероховатости полученных золь-гель пленок по сравнению с нелегированной ZnO пленкой.

## Литература

1. Ultraviolet and visible photoresponse properties of n-ZnO p-Si heterojunction. [Electronic Source] / Mridha S. and Basak D. // J. Applied Physics. – 2007. – Vol. 101, Issue 8. – URL: <https://doi.org/10.1063/1.2724808>. – Data of access: 25.01.2022.
2. Малютина-Бронская, В. В. Фотоактивные свойства наноконпозиционных покрытий ZnO<sub>x</sub>:MgO, осажденных в вакууме и методом золь-гель синтеза / В. В. Малютина-Бронская [и др.] // Журнал «Проблемы физики, математики и техники». – 2021. – № 2 (47). – С. 39–44.
3. Влияние иона-активатора на свойства пленок оксида цинка / А. В. Семченко [и др.] // Вестник инженерной академии Армении. – 2021. – Т.18, № 2. – С. 232–236.

**Н. Е. Демиденко**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. В. Васьеви́ч**, ст. преподаватель

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГИДРОФИЛЬНЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПОКРЫТИЙ

Тонкие пленки с гидрофильными свойствами в последнее время приобрели исключительное значение в самых разнообразных областях их применения как современной науки и техники, так и в быту. Наибольший интерес представляют гидрофильные материалы с самоочищающимися и защитными свойствами. Такие покрытия используются для предохранения поверхности стекол зданий, транспорта от загрязнения, а также для предотвращения запотевания внутренних стекол зданий, сухопутного, воздушного и водного транспорта, зеркал.

Одним из прогрессивных методов получения гидрофильных покрытий является золь-гель метод, позволяющий синтезировать раз-

личные виды материалов при невысоких температурах. Этот метод обладает такими преимуществами, как простота используемого оборудования, экономичность, экологичность, гибкость технологии.

В ходе проведения исследований была подготовлена серия покрытий на основе соединений титана, циркония и кремния.

В качестве основных компонент пленкообразующих растворов использовали следующие металлоорганические соединения: тетраэтилортосиликат (ТЭОС), триэтокси(октил)силан, пропоксид титана, этоксид титана и пропоксида циркония. В качестве растворителя использовали изопропиловый спирт. Для стабилизации растворов использовали азотную кислоту. Для созревания растворов их выдерживали при температуре окружающей среды ( $22\pm 2$ ) °С в течение 2–3 дней. После созревания полученные пленкообразующие растворы наносили на подложки из стекла.

Для получения пленок требуемой толщины и хорошей однородности установлена корреляция между параметрами коллоидного раствора и скоростью вращения центрифуги. Установлено, что для получения покрытий толщиной  $\approx 500$  нм скорость вращений центрифуги составляет 1500 об/мин.

После нанесения все покрытия подвергали термообработке в два этапа: на первом этапе сушили при 200 °С в течении 20 минут для полного удаления физически адсорбированной воды и остатков органического растворителя; на втором этапе отжигали при температуре от 300 °С до 400 °С в течении 60 минут для окончательного формирования оксида.

Механическая прочность полученных тонких золь-гель пленок, нанесенных на стекло, может быть охарактеризована сопротивляемостью к истиранию. При этом пленка постепенно стирается, утончается и, наконец, снимается совсем. Если адгезия незначительная и плотность небольшая, то пленка снимается при малейшем прикосновении истирающего материала. По результатам исследования механических свойств установлено, что полученные покрытия обладают высокой механической стойкостью ( $>5000$  циклов).

Методом атомно-силовой микроскопии была исследована топография поверхности полученных пленок (рисунок 1).

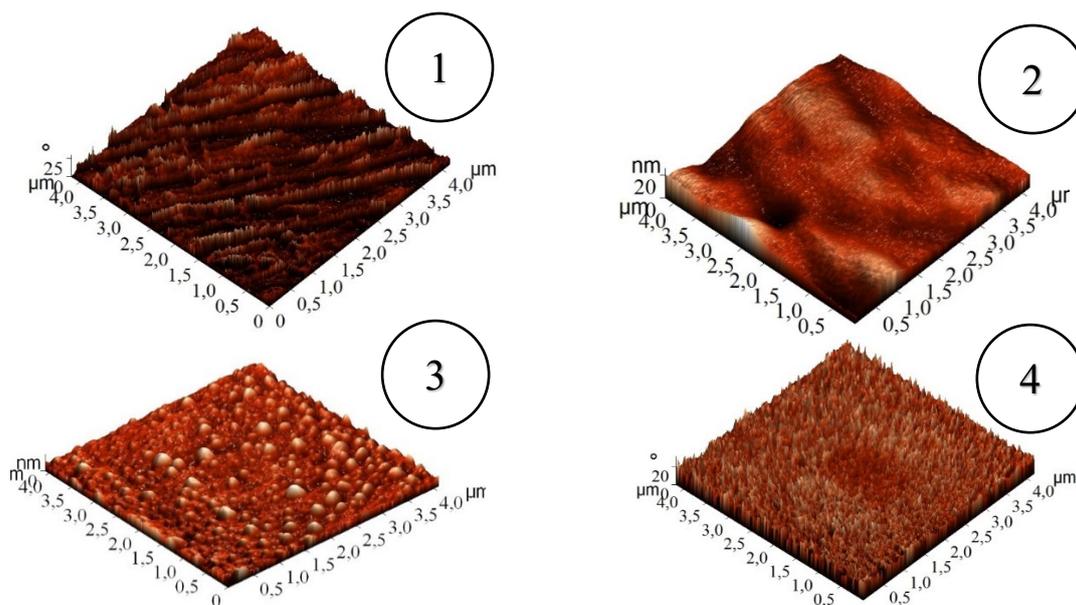


Рисунок 1 – Топография поверхности полученных покрытий:

- 1 – на основе пропоксида циркония; 2 – на основе ТЭОСа;  
3 – на основе триэтокси(октил)силана; 4 – на основе этоксида титана

Результаты исследования топографии поверхности указывают на наличие глобул в покрытиях на основе триэтокси(октил)силана размером 700–800 нм, а высотой 60–80 нм. На поверхности образцов на основе соединений циркония образуются упорядоченные игольчатые структуры высотой 25–30 мкм.

На поверхности образцов на основе соединений этоксида титана нет ярко выраженных изменений. Данные покрытия отличаются гладкостью. В образцах на основе пропоксида титана встречаются поры диаметром 6 нм в интервалах 400–500 нм.

Методом сидячей капли проведены исследования краевого угла смачивания полученных покрытий. С помощью дозатора на образцы наносили капли глицерина и воды по 0,5 мкл. Затем рассматривали капли под увеличительными микроскопами и фотографировали их в окуляре. Результаты исследования представлены в таблице 1.

По результатам исследования можно сделать вывод, что оптимальными гидрофильными свойствами (наименьшим углом смачивания) обладают покрытия на основе пропоксида циркония, прошедшие термообработку при температуре 300 °С в течении 60 минут.

В процессе проведённой работы была подготовлена серия образцов гидрофильных покрытий, определены оптимальные режимы нанесения и термообработки получаемых гидрофильных покрытий. Покрытия обладают высокой механической стойкостью (>5000 цик-

лов). Результаты исследования топографии поверхности методом АСМ указывают на наличие глобул, пор и игольчатых структур в полученных покрытиях.

Таблица 1 – Расчет краевого угла смачивания для капель воды

Номер образ-ца	Основа золя	Рассчитанный угол $\theta$ для воды, градус	Рассчитанный угол $\theta$ для глицерина, градус
1	Без покрытия	63,7	76,4
2	ТЭОС	50,0	73,3
3	Этоксид титана	46,1	55,7
4	Пропоксид титана	34,1	46,4
5	Пропоксид циркония	31,9	43,3
6	Триэтокси(октил)силан+ ТЭОС	43,2	59,5

Результаты исследования гидрофильных свойств показывают, что покрытия на основе пропоксида циркония имеют наименьший краевой угол смачивания ( $\approx 32^\circ$ ). Покрытия на основе кремния не обладают должными гидрофильными свойствами, но их краевой угол меньше краевого угла капли, находящейся на стекле без покрытия.

**А. И. Демьянчик, А. С. Корольков, Н. Н. Алифировец**  
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)  
Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

## **ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В МОТОРНЫХ МАСЛАХ МАРКИ НАФТАН**

При изготовлении моторных масел, производители стремятся к тому, чтобы механические примеси отсутствовали. Зарубежные и отечественные требования стандартов допускают наличие в моторном масле механических примесей в количестве не более 0,015 % [1–5]. Образовавшиеся в моторном масле механические примеси вызывают повышенный износ и нагрев поверхностей трения, а также способствуют образованию шлама, который может отлагаться в маслопроводах и нарушать тем самым подвод масла к узлам трения [1–5].

Цель настоящей работы – исследование изменения содержания механических примесей в моторных маслах марок Нафтан Премьер 5W-40, Нафтан Гарант 5W-40, Нафтан Премьер 5W-30 и Нафтан Гарант 5W-30 в зависимости от величины пробега легкового транспортного средства, оборудованного бензиновым двигателем внутреннего сгорания. Методика проведения исследований приведена в научных работах [1–5]. Содержание механических примесей в исследуемом моторном масле определяли с использованием сертифицированного оборудования по ГОСТ 6370–83 «Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей» [6].

Рекомендуемым сроком замены данных масел является пробег транспортного средства равный 15 тыс. км, или не реже чем через 1 год эксплуатации автомобиля.

В таблице 1 представлены результаты исследования по определению содержания механических примесей в моторных маслах производства ОАО «Нафтан» при эксплуатации легкового транспортного средства с бензиновым двигателем в зависимости от величины пробега.

Можно видеть (таблица 1), что содержание механических примесей в исследуемых образцах моторных масел с увеличением пробега постоянно повышается.

Таблица 1 – Результаты определения содержания механических примесей в синтетических моторных маслах производства ОАО «Нафтан»

Пробег транспортного средства, тыс. км	Содержание механических примесей в исследуемых моторных маслах, %			
	Нафтан Премьер 5W-40	Нафтан Гарант 5W-40	Нафтан Премьер 5W-30	Нафтан Гарант 5W-30
5	0,007	0,007	0,010	0,011
10	0,016	0,017	0,019	0,020
15	0,024	0,027	0,022	0,023
20	0,030	0,029	0,028	0,031

Так, при использовании моторного масла Нафтан Премьер 5W-40 при пробеге автомобилем до 20 тыс. км содержание механических примесей возрастает до 0,030 %, при использовании моторных масел марок Нафтан Гарант 5W-40, Нафтан Премьер 5W-30 и Нафтан Гарант 5W-30 при аналогичном значении пробега содержание механических примесей повышается до 0,029 %, 0,028 % и 0,031 % соответственно. Наиболее интенсивный рост количества механических примесей у всех масел наблюдается после 10 тыс. км пробега. Показано

(таблица 1), что после пробега транспортным средством 15 тыс. км содержания механических примесей в исследуемом образце моторного масла Нафтан Премьер 5W-40 возрастает с 0,007% до 0,024 % (более чем в 3,4 раза). При использовании моторных масел марок Нафтан Гарант 5W-40 с 0,007 % до 0,027 % (в 3,8 раза), Нафтан Премьер 5W-30 с 0,010 % до 0,022 % (в 2,2 раза) и Нафтан Гарант 5W-30 с 0,011 % до 0,023 % (в 2,1 раза) соответственно. После 20 тыс. км пробега значение содержания механических примесей во всех исследуемых моторных маслах производства ОАО «Нафтан» превышает установленное и указанное в исследовательских работах [1–5] минимально допустимое значение (0,025 %).

По результатам проведенного исследования можно утверждать, что минимальное содержание механических примесей после пробега транспортным средством 20 тыс. км отмечено при использовании синтетического моторного масла марки Нафтан Премьер 5W-30.

Установлено, что моторные масла производства ОАО «Нафтан» не уступают по своим эксплуатационным свойствам зарубежным аналогам. Данный вывод основан на экспериментальном исследовании эксплуатационных показателей зарубежных синтетических моторных масел марок Shell 5W-40 и Motul 5W-30 [1–3, 5]. Таким образом, можно утверждать, что замену всех исследуемых моторных масел производства ОАО «Нафтан», по содержанию механических примесей, в целях ресурсосбережения двигателя и его частей целесообразно проводить в интервале пробега от 15 до 20 тыс. км.

## Литература

1. Алифировец, Н. Н. Исследование содержания механических примесей в синтетическом моторном масле Shell марки 5w40 / Н. Н. Алифировец, А. С. Корольков // Актуальные вопросы физики и техники : X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апр. 2021 г.) : материалы: в 2 ч. Ч. 1., / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 16–19.

2. Божко, Е. И. Исследование изменения содержания механических примесей в синтетическом моторном масле марки Motul SAE 5W30 в зависимости от пробега транспортного средства / Е. И. Божко, Р. А. Линько // Актуальные вопросы физики и техники : X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апр.

2021 г.) : материалы: в 2 ч. Ч. 1., / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 35–38.

3. Ермак, О. К. Исследование изменения содержания механических примесей в полусинтетических моторных маслах, используемых в бензиновых двигателях / О. К. Ермак, О. Д. Заболотный, С. С. Нестер // Актуальные вопросы физики и техники : X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апр. 2021 г.) : материалы: в 2 ч. Ч. 1., / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 72–75.

4. Пивоварчик, А. А. Исследование эксплуатационных показателей полусинтетических моторных масел марки SAE 10W40, используемых в бензиновых двигателях / А. А. Пивоварчик, А. К. Гавриленя, О. Д. Заболотный // Вестник БарГУ. Серия: Технические науки. – 2021. – № 1 (9). – С. 77–84.

5. Пивоварчик, А. А. Исследование эксплуатационных показателей синтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях легковых механических транспортных средств / А. А. Пивоварчик, А. С. Корольков, Н. Н. Алифировец // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6, Тэхніка. – 2021. – Т. 11. – № 2. – С. 21–27.

6. Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей: ГОСТ 6370–83. – Переизд. декабрь 2012 с Изм. 1 (ИУС. 1988. № 11). – Взамен ГОСТ 6370–59; введ. Респ. Беларусь 17.12.92. – Минск: Госстандарт, 2012. – 5 с.

**А. И. Демьянчик, Н. Н. Алифировец**  
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ В ОТКРЫТОМ ТИГЛЕ В МОТОРНЫХ МАСЛАХ МАРКИ НАФТАН**

Известно [1–4], что у моторного масла с высокими эксплуатационными свойствами значение температуры вспышки в открытом тигле должно быть как можно выше. У современных синтетических и полусинтетических моторных масел различных зарубежных и отечественных производителей данный эксплуатационный показатель моторного масла превышает значение 175 °С, и, как правило, находится в пределах от 190 °С до 230 °С и выше [1–4].

Цель настоящей работы – исследование изменения температуры вспышки в открытом тигле в моторных маслах марок Нафтан Премьер 5W-40, Нафтан Гарант 5W-40, Нафтан Премьер 5W-30 и Нафтан Гарант 5W-30 в зависимости от величины пробега легкового транспортного средства, с бензиновым двигателем. Методика проведения исследований описана в работах [2–4]. Температуру вспышки в открытом тигле для выбранных для исследования моторных масел определяли по ГОСТ 4333–87 «Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле» [5]. Результаты исследований изменения температуры вспышки в открытом тигле исследуемых моторных масел представлены в таблице 1.

Рекомендуемым сроком замены данных масел является пробег транспортного средства равный 15 тыс. км, или не реже чем через 1 год эксплуатации автомобиля. В таблице 1 представлены результаты исследования по определению изменения температуры вспышки в открытом тигле в моторных маслах производства ОАО «Нафтан» при эксплуатации легкового транспортного средства с бензиновым двигателем в зависимости от величины пробега.

Можно видеть (таблица 1), что температура вспышки в открытом тигле в исследуемых образцах моторных масел с увеличением пробега снижается. Так, при использовании моторного масла Нафтан Премьер 5W-40 при пробеге автомобилем до 20 тыс. км температура вспышки в открытом тигле снижается до 212 °С, при использовании моторных масел марок Нафтан Гарант 5W-40, Нафтан Премьер 5W-30 и Нафтан Гарант 5W-30 при аналогичном значении пробега температура вспышки в открытом тигле снижается до 224 °С, 220 °С и 217 °С соответственно. Наиболее интенсивное снижение значения температуры вспышки в открытом тигле у всех масел наблюдается после 10 тыс. км пробега. Показано (таблица 1), что после пробега транспортным средством 15 тыс. км температура вспышки в открытом тигле в исследуемом образце моторного масла Нафтан Премьер 5W-40 уменьшается до 214 °С (на 10 °С). При использовании моторных масел марок Нафтан Гарант 5W-40 до 230 °С (на 5 °С), Нафтан Премьер 5W-30 до 226 °С (на 5 °С) и Нафтан Гарант 5W-30 до 222 °С (на 8 °С) соответственно.

Можно видеть (таблица 1), что после пробега транспортным средством 20 тыс. км температура вспышки в открытом тигле в исследуемом образце моторного масла Нафтан Премьер 5W-40 снизилась на 17 °С. При использовании моторных масел марок Нафтан Гарант

5W-40 на 12 °С, Нафтан Премьер 5W-30 на 13 °С и Нафтан Гарант 5W-30 на 15 °С.

В результате проведенных исследований, экспериментально установлено, что после 20 тыс. км пробега значение температуры вспышки в открытом тигле во всех исследуемых моторных маслах производства ОАО «Нафтан» снизилось на величину, находящуюся в пределах от 5,1 % до 7,4 %. Данное изменение температуры вспышки в открытом тигле свидетельствует о том, что данные масла обладают высокими эксплуатационными свойствами по исследуемому показателю. Согласно данным работ [1–4] моторное масло следует заменить при изменении исследуемого показателя более чем на 20 %.

Таблица 1 – Результаты изменения температуры вспышки в открытом тигле в синтетических моторных маслах производства ОАО «Нафтан»

Пробег транспортного средства, тыс. км	Температура вспышки в открытом тигле в исследуемых моторных маслах, °С			
	Нафтан Премьер 5W-40	Нафтан Гарант 5W-40	Нафтан Премьер 5W-30	Нафтан Гарант 5W-30
Исходное значение	229	236	233	232
5	228	235	231	230
10	226	233	229	225
15	214	230	226	222
20	212	224	220	217

По результатам проведенного исследования можно утверждать, что минимальное снижение температуры вспышки в открытом тигле после пробега транспортным средством 20 тыс. км наблюдается при использовании синтетического моторного масла марки Нафтан Гарант 5W-40.

Установлено, что моторные масла производства ОАО «Нафтан» не уступают по своим эксплуатационным свойствам зарубежным аналогам. Данный вывод основан на экспериментальном исследовании эксплуатационных показателей зарубежных синтетических моторных масел марок [2–4]. Таким образом, можно утверждать, что замену всех исследуемых моторных масел производства ОАО «Нафтан», по величине температуры вспышки в открытом тигле, в целях ресурсосбережения двигателя и его частей целесообразно проводить после 20 тыс. км пробега.

## Литература

1. Сырбаков, А. П. Топливо и смазочные материалы : учебн. пособие / А. П. Сырбаков, М. А. Корчуганова. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2015. – 159 с.

2. Заболотный, О. Д. Исследование температуры вспышки полусинтетических моторных масел марки SAE 10W40 / О. Д. Заболотный, Ю. Ю. Тонко // Актуальные вопросы физики и техники: X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апр. 2021 г.) : материалы : в 2 ч. Ч. 1. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 81–83.

3. Сергей, А. И. Исследование температуры вспышки в открытом тигле моторных масел для дизельных двигателей / А. И. Сергей, Я. Я. Маркевич // Актуальные вопросы физики и техники : VIII Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 25 апр. 2019 г.) : материалы : в 2 ч. Ч. 1. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко [и др.]. – Гомель, 2019. – С. 56–59.

4. Корольков, А. С. Анализ методов исследования свойств моторных масел легковых автомобилей на примере моторного масла Shell SAE 5W40 / А. С. Корольков, Н. Н. Алифировец // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения : сб. материалов V Междунар. науч. конф. молодых ученых (Гродно, 19 ноября 2021 г.) / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол.: А. С. Воронцов (отв. ред.) [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2021. – С. 97–108.

5. Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле: ГОСТ 4333–2014. – Взамен ГОСТ 4333–87; введ. Респ. Беларусь 01.05.17. – Минск: Госстандарт, 2017. – 15 с.

**А. В. Довнар**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. В. Семченко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЛБЧАТЫХ НАНОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА**

Важной особенностью ZnO является относительная простота получения самых разнообразных наноструктур, наночастиц размером от нескольких десятков нанометров до разнообразных столбчатых струк-

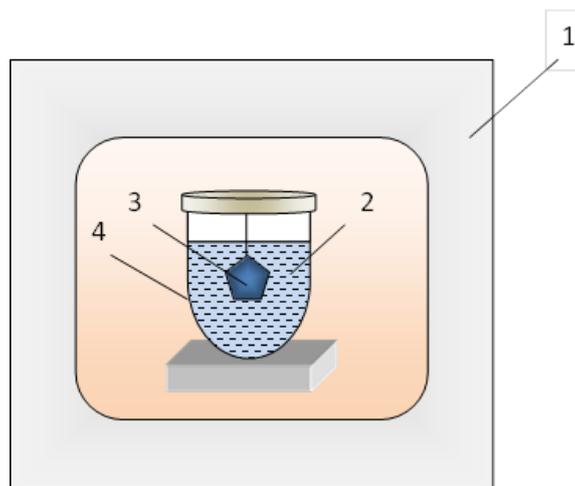
тур микрометровой длины. Дополнительный потенциал для использования массивов столбчатых структур, как элементной базы функциональных устройств, дает модифицирование их физических свойств, что может осуществляться, например, легированием затравочного слоя для ориентированного синтеза этих структур, а также путем нанесения на их поверхность наночастиц металлов.

Наноструктурированный оксид цинка (ZnO) является широко используемым технологическим материалом благодаря своей доступности, невысокой цене, химической стабильности, биосовместимости и уникальному сочетанию химических и физических свойств. В частности, наноструктуры ZnO используются в конструкциях газовых датчиков, суперконденсаторов, твердотельных, гибридных и органических солнечных элементов, светоизлучающих диодов, инструментов для биохимического зондирования, ультрафиолетовых лазеров, высокопроизводительных наносенсоров, пьезоэлектрических наногенераторов, коротковолновых светоиспускающих оптоэлектронных наноприборов [1–4].

Для синтеза столбчатых наноструктур оксида цинка использовали химическое осаждение из растворов солей цинка. В качестве источника гидроксильной группы использовался этилендиамин. В реакционный стакан помещали 1 мл этилендиамина в 200 мл дистиллированной воды. Далее, при постоянном перемешивании по каплям к раствору этилендиамина добавляли 0,2 молярный водный раствор ацетата цинка  $Zn(CH_3COOH)_2$  до установления pH 8,5. В получившуюся смесь опускали образцы с нанесенным зародышевым слоем ZnO. Подложки располагали в реакционных сосудах вертикально (рисунок 1).

При исследовании образцов был использован растровый электронный микроскоп HITACHI S-4800. Изображение наностержней приведено на рисунке 2.

Низкотемпературный гидротермальный метод является эффективным, экономичным и экологически чистым способом синтеза нанокристаллов ZnO. ZnO обладает способностью расти с высокой скоростью вдоль кристаллографического направления [002], в условиях гидротермального синтеза. В результате возможен рост наностержней и наноплоскостей, поэтому при синтезе ZnO можно получать большое разнообразие структур нанометрового диапазона.



1 – сушильный шкаф; 2 – рабочий раствор; 3 – подложка; 4 – реакционный сосуд

Рисунок 1 – Схема установки для гидротермального синтеза

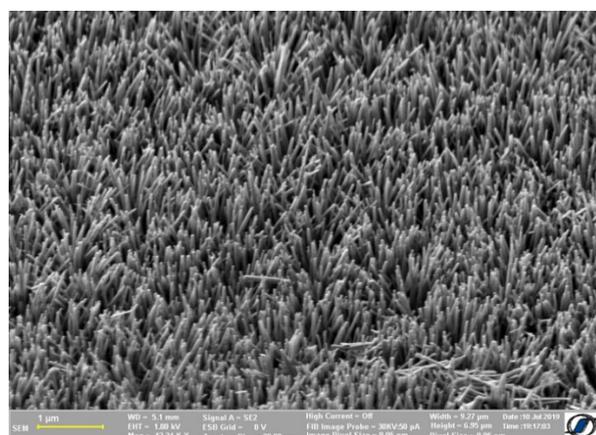


Рисунок 2 – СЭМ изображение упорядоченного массива наностержней ZnO, выращенного на кремниевой подложке с затравочным слоем ZnO/Ag

## Литература

1. Wu, W. Piezotronic Nanowire-Based Resistive Switches As Programmable Electromechanical Memories / W. Wu, Zh. L. Wang. // Nano Letters. – 2011. – № 11(7). – P. 2779–2785.
2. Owens, F. J. Introduction to Nanotechnology / F. J. Owens, C. P. Poole. – New Jersey : Wiley-interscience, 2003. – 388 p.
3. Гуртов, В. А. Микроэлектромеханические системы : учебное пособие / В. А. Гуртов, М. А. Беляев, А. Г. Бакшеева – Петрозаводск : ПетрГУ, 2016. – 172 с.
4. Варадан, В. Высокочастотные МЭМС и их применение / В. Варадан, К. Виной, К. Джозе. – М. : Техносфера, 2004. – 528 с.

**К. В. Ефимчик**  
(БелГУТ, Гомель)

Науч. рук. **Е. Ф. Кудина**, д-р техн. наук, профессор

**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ГЕОМОДИФИЦИРОВАННЫХ  
ПОЛИОЛЕФИНОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ  
ДОРОЖНЫХ НАСТИЛОВ В ЦЕЛЯХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ  
ЛИЧНОГО СОСТАВА И ТЕХНИКИ**

В современном мире весьма актуальной является проблема организации эффективного использования твердых коммунальных отходов (далее – ТКО) и вторичных материальных ресурсов (далее – ВМР) из состава ТКО.

В Национальной стратегии по обращению с ТКО и ВМР в Республике Беларусь на период до 2035 года (далее – Национальная стратегия) определена система принципов, задач, приоритетов, целей и направлений действий, которые должны реализовываться в нормативных правовых актах, актах органов местного самоуправления, государственных и отраслевых программах, региональных программах, инвестиционных проектах, направленных на создание и обеспечение экологически безопасного и экономически эффективного обращения с ТКО и ВМР из состава ТКО [1, 3 с].

В целях обеспечения экологически безопасного и экономически эффективного обращения с ТКО и ВМР нами были разработаны композиционные материалы на основе геомодифицированных полиолефинов. Для изготовления опытных образцов был спроектирован и изготовлен специальный пресс. Экспериментальные образцы изготавливались с разным процентным содержанием компонентов.

Для изготовления образцов, все компоненты помещались в емкость и перемешивались, после чего нагревались в муфельной печи при температуре 185 °С в течении одного часа и перемешивались снова до получения однородной массы. Далее помещались в специально спроектированный пресс для изготовления экспериментальных образцов. После чего нагревались в муфельной печи и прессовались в тисках ручным способом.

На рисунке 1 представлен проектируемый и изготовленный пресс для изготовления опытных образцов.

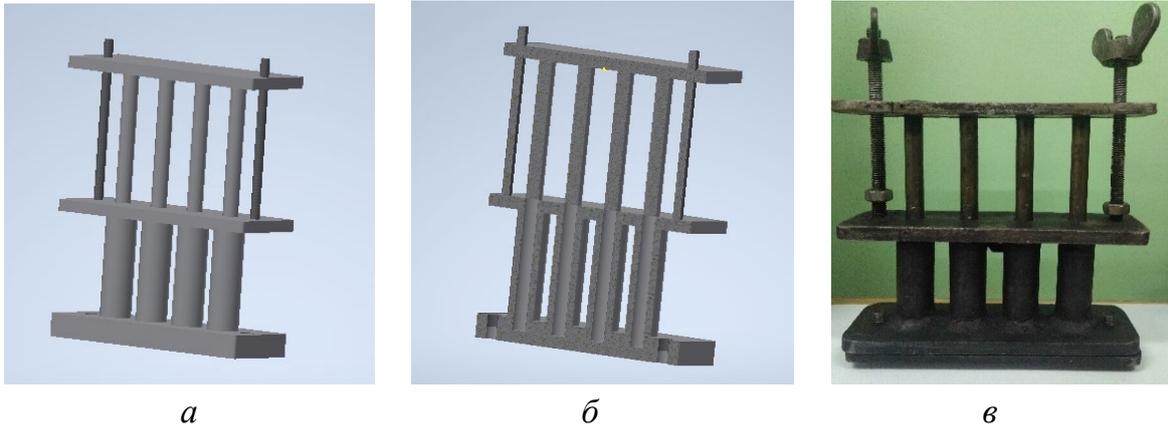


Рисунок 1 – Пресс для изготовления экспериментальных образцов:  
 а – проектируемый; б – проектируемый в разрезе; в – реальный

По результатам испытаний экспериментальных образцов, можно сделать вывод, что из разработанного материала на основе геомодифицированных полиолефинов возможно изготовление элементов дорожных настилов для перемещения личного состава и техники.

Оптимальный размер дорожного настила для укладки его вручную (без использования специальных грузоподъемных приспособлений) составляет 500 x 1000 x 40 мм, вес 25 кг. На верхней части настила имеются ребра противоскольжения для техники, в нижней части настила имеются квадратные углубления, чтобы настил не перемещался по поверхности земли. С торцевых частей настила имеется Г-образный замок и серьга, для стыкования настилов по ширине.

Общий вид сверху и снизу дорожного настила, а также варианты укладки представлены на рисунке 2.

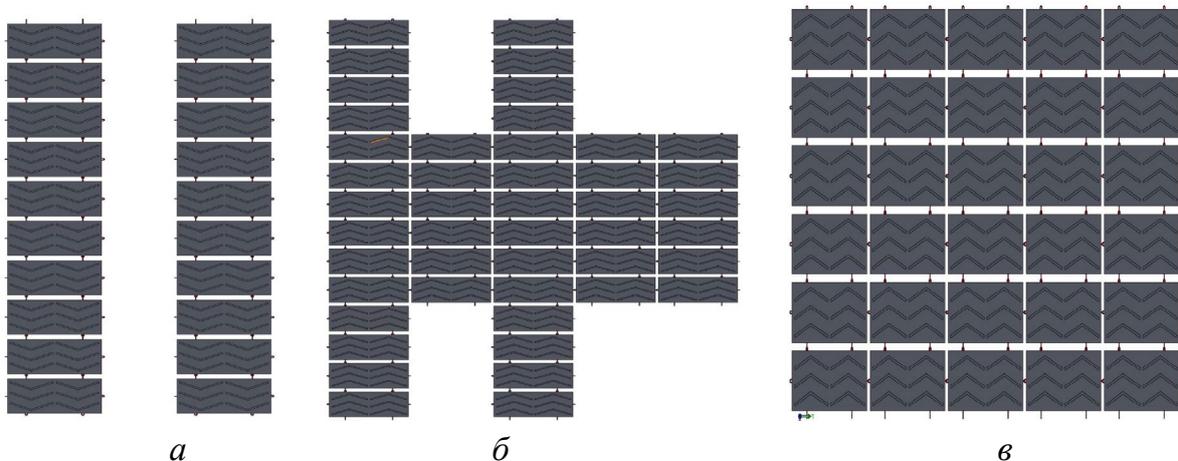


Рисунок 2 – Варианты укладки настила:  
 а – колея; б – место разъезда; в – площадка для хранения

Для обоснования экономической целесообразности проведенных исследований были проведены расчеты по укладке площадки площадью 100 м<sup>2</sup>. Для покрываемой площади необходимо 200 плит размером 1 м х 0,5 м х 0,04 м, весом 25 кг каждая из разработанного материала или 38 плит 1П18.15-30 из бетона размером 1,75 м х 1,5 м х 0,16 м, весом 1030 кг каждая (минимальный размер дорожной плиты из применяемых).

В таблице 1 представлен расчет необходимого количества изделий для покрытия площадки площадью 100 м<sup>2</sup>.

Таблица 1 – Расчет изделий

Наименование изделия	Покрываемая площадь 1 изделия, м <sup>2</sup>	Необходимое количество изделий на 100 м <sup>2</sup>
Настил из разработанного материала	0,5	200
Плита 1П18.15-30	2,625	39

Укладка одного настила с использованием грузоподъемного крана составляет 0,25 часа. Минимальная стоимость работы грузоподъемного крана составляет 190 рублей за 8 часов. Для укладки 39 плит необходимо 9,75 часов. Стоимость укладки 39 плит составит 231 рубль 56 копеек. В таблице 2 представлена стоимость покрытия площадки размером 100 м<sup>2</sup>.

Таблица 2 – Стоимость площадки

Наименование изделия	Стоимость за единицу, руб	Необходимое количество изделий на 100 м <sup>2</sup>	Стоимость изделий на 100 м <sup>2</sup> , руб	Стоимость грузоподъемного механизма для установки настилов	<b>ИТОГО стоимость укладки площадки 100 м<sup>2</sup></b>
Настил из разработанного материала	14,70	200	2940	–	<b>2940</b>
Плита 1П18.15-30	87	39	3393	231,56	<b>3624,56</b>

Экономический эффект при укладке плит из разработанного материала, составляет 684 рубля 56 копеек на каждые 100 м<sup>2</sup>.

## Литература

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28.07.2017 № 567 «Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года».

**П. В. Карпач**

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **Г. Т. Василюк**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ СПЕКТРЫ ЭЛЕКТРОННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ФОТОХРОМНОГО ДИАРИЛЭТЕНА**

Диарилэтены (ДАЭ), наряду с другими фотохромными соединениями (такими как, например, спиропираны или фульгиды), являются перспективными для применения в устройствах молекулярной электроники и фотоники в качестве фотоуправляемых переключателей и сред памяти [1].

Фотохромизм ДАЭ состоит в обратимой валентной изомеризации, т.е. в фотоиндуцированном переходе из открытой формы А в циклическую форму В. Открытый бесцветный изомер ДАЭ (А), поглощая УФ излучение, превращается в окрашенный (циклический) изомер ДАЭ (В), который под действием видимого излучения, поглощаемого им, снова превращается в исходный открытый изомер. ДАЭ являются термически необратимыми, поскольку термическая релаксация фотоиндуцированного циклического изомера ДАЭ (В) в исходную открытую форму при комнатной температуре не реализуется.

В настоящей работе с применением методов абсорбционной спектрофотометрии и квантовой химии исследованы фотоиндуцированные изменения молекулярной структуры фотохромного соединения ДАЭ1 (рисунок 1а) из класса циклопентеновых производных ДАЭ в хлороформе. Спектры поглощения ДАЭ1 (рисунок 1б) регистрировались с применением спектрофотометра SPECORD 200 (CarlZeiss, Германия).

В экспериментальных спектрах поглощения проявляются обратимые фотохромные изменения молекулы ДАЭ1, происходящие в результате облучения УФ и видимым излучением. Об этом свидетель-

ствует появление и исчезновение полосы с максимумом около 500 нм. Эти изменения проявляются также в результатах квантово-химического исследования электронной структуры и свойств молекулы ДАЭ1 (рисунок 2 и таблицы 1, 2).

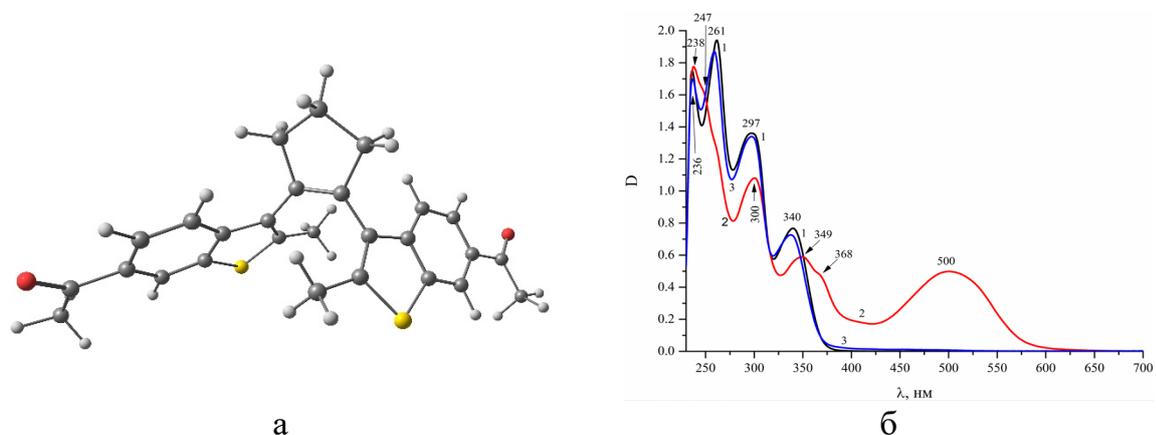


Рисунок 1 – (а) Оптимизированная структура открытого изомера молекулы ДАЭ1; (б) Спектры поглощения ДАЭ1 в хлороформе до (1), после УФ облучения ( $\lambda=365\text{nm}$ ) (2) и после облучения видимым светом ( $\lambda=514\text{nm}$ ) (3)

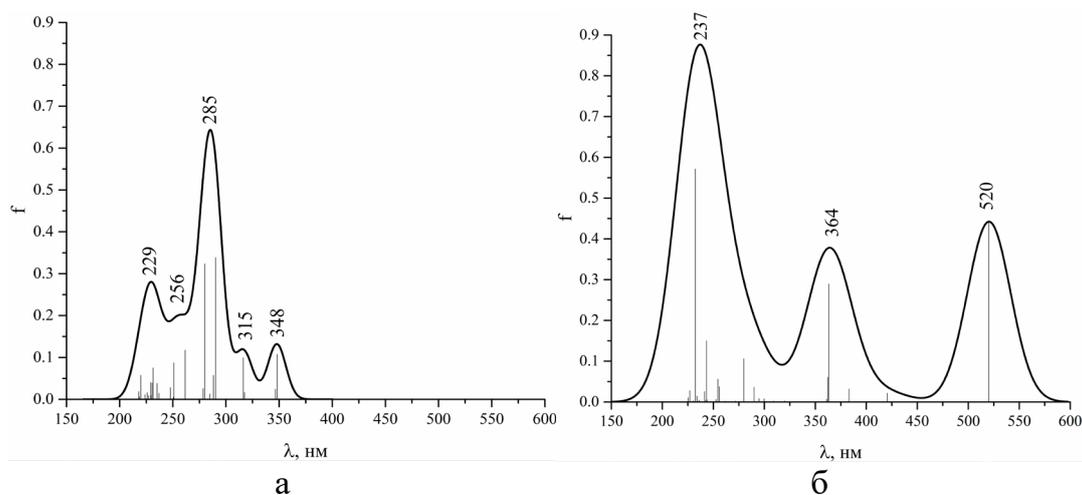


Рисунок 2 – Расчетные спектры электронного поглощения открытого (а) и циклического (б) изомера молекулы ДАЭ1

Квантово-химические расчеты выполнены с использованием программного пакета PC GAMESS 7.1.G (Firefly). При расчетах равновесной геометрии (с использованием метода теории функционала плотности (DFT)) и спектров электронного поглощения (метод TD-DFT) молекулы ДАЭ1 применялся гибридный трехпараметрический обменный функционал Беке с корреляционным функционалом Ли–

Янга–Парра (B3LYP) в базисе 6-31G. Растворитель учитывался в рамках модели PCM.

Таблица 1 – Электронная структура открытого и циклического изомеров молекулы ДАЭ1, рассчитанная относительно основных пиков

Изомер	Состояние	$\lambda$ , нм	$\Delta E$ , эВ	Разложение волновых функций по однократно возбужденной конфигурации	f
Открытый	$S_0 \rightarrow S_{21}$	232	5,36	0,49 (117→124) - 0,35 (117→125) - 0,33 (116→121) + 0,31 (115→120)	0,08
	$S_0 \rightarrow S_{11}$	280	4,43	0,77 (113→118) + 0,57 (114→119) + 0,15 (113→119)	0,32
	$S_0 \rightarrow S_7$	290	4,27	0,70 (115→118) - 0,39 (114→119) + 0,34 (113→118) + 0,30 (116→119)	0,39
	$S_0 \rightarrow S_1$	348	3,56	0,93 (117→118) + 0,31 (117→119)	0,11
Циклический	$S_0 \rightarrow S_{27}$	232	5,34	0,65 (116→121) + 0,59 (116→123) - 0,26 (112→119) - 0,19 (111→118)	0,57
	$S_0 \rightarrow S_4$	363	3,41	-0,88 (115→118) - 0,33 (114→118) - 0,18 (114→119) + 0,13 (117→118)	0,29
	$S_0 \rightarrow S_1$	520	2,38	0,99 (117→118) + 0,14 (115→118)	0,44

Примечание:  $\lambda$  – длина волны перехода;  $\Delta E$  – энергия перехода; f – сила осциллятора.

При анализе пограничных молекулярных орбиталей соединения ДАЭ1 рассчитаны потенциал ионизации  $IP = -E_{HOMO}$ , сродство к электрону  $EA = -E_{LUMO}$ , общая жесткость  $\eta = (IP - EA) / 2$ , ширина запрещенной зоны  $E_g = E_{HOMO} - E_{LUMO}$ , электрофильность  $\omega = \chi^2 / 2\eta$ , электроотрицательность  $\chi = (IP + EA) / 2$ , электронный химический потенциал  $\mu = -(IP + EA) / 2$  и химическая мягкость  $S = 1 / \eta$ . Результаты анализа пограничных молекулярных орбиталей соединения ДАЭ1 приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные электронные свойства открытого и циклического изомеров молекулы ДАЭ1

Изомер	$E_{HOMO}$ , эВ	$E_{LUMO}$ , эВ	IP, эВ	EA, эВ	$E_g$ , эВ	$\mu$ , эВ	$\eta$ , эВ	S, эВ	$\chi$ , эВ	$\omega$ , эВ
Открытый	-5,97	-1,97	5,97	1,97	4,00	-3,97	2,00	0,50	3,97	3,94
Циклический	-5,45	-2,69	5,45	2,69	2,76	-4,07	1,38	0,72	4,07	6,00

## Литература

1. Irie, M. Photochromism of diarylethene molecules and crystals: memories, switches, and actuators. / M. Irie, T. Fukaminato, K. Matsuda, S. Kobatake // Chem. Rev. – 2014. – V. 114. – P. 12174–12277.

**М. А. Коваленко**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. А. Гольдаде**, д-р техн. наук, профессор

### **ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННЫЕ ТОКИ В НАНОКОМПОЗИТАХ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА**

Полилактид (ПЛА) – биосовместимый, биоразлагаемый, термопластичный полиэфир, мономером которого является молочная кислота. Сейчас изделия из полилактида широко применяются в медицине: из него изготавливают медицинский крепёж, нити для швов, капсулы для доставки лекарств и др. Поскольку полилактид относится к диэлектрикам, он поляризуется в электрических полях и обладает электретными свойствами. Известно, что электрические поля электретов положительно влияют на многие микропроцессы, протекающие в организме, такие как смачивание, смазывание, бактерицидные свойства и др. Регулировать электретные свойства можно различными методами, в том числе введением в полимер нанодисперсных наполнителей [1]. Одним из методов получения информации об электретных свойствах полимеров является термоаквационный анализ, или метод термостимулированных токов.

В работе исследованы три группы образцов: чистый ПЛА и ПЛА, наполненный нанодисперсным монтмориллонитом (размер частиц 20 нм) с содержанием 0,5 и 1 % масс. Наполнение чистого ПЛА монтмориллонитом (ММТ) производили, предварительно смешивая компоненты в смесителе с последующей экструзией полученной смеси в двухшнековом экструдере и гранулированием. Затем методом горячего прессования из гранул получали плёнки. Спектры термостимулированных токов (ТСТ) получали, плавно нагревая образцы плёнок до температуры 200 °С между электродами, замкнутыми на измерительный прибор.

Спектры ТСТ приведены на рисунке. Чистые ненаполненные образцы плёнок (рисунок 1 *a*) имеют выражение пики ТСТ при темпера-

туре 80 °С и группу пиков в диапазоне температур 120–170 °С. Максимальная величина тока соответствует температуре плавления кристаллической части ПЛА (170–180 °С).

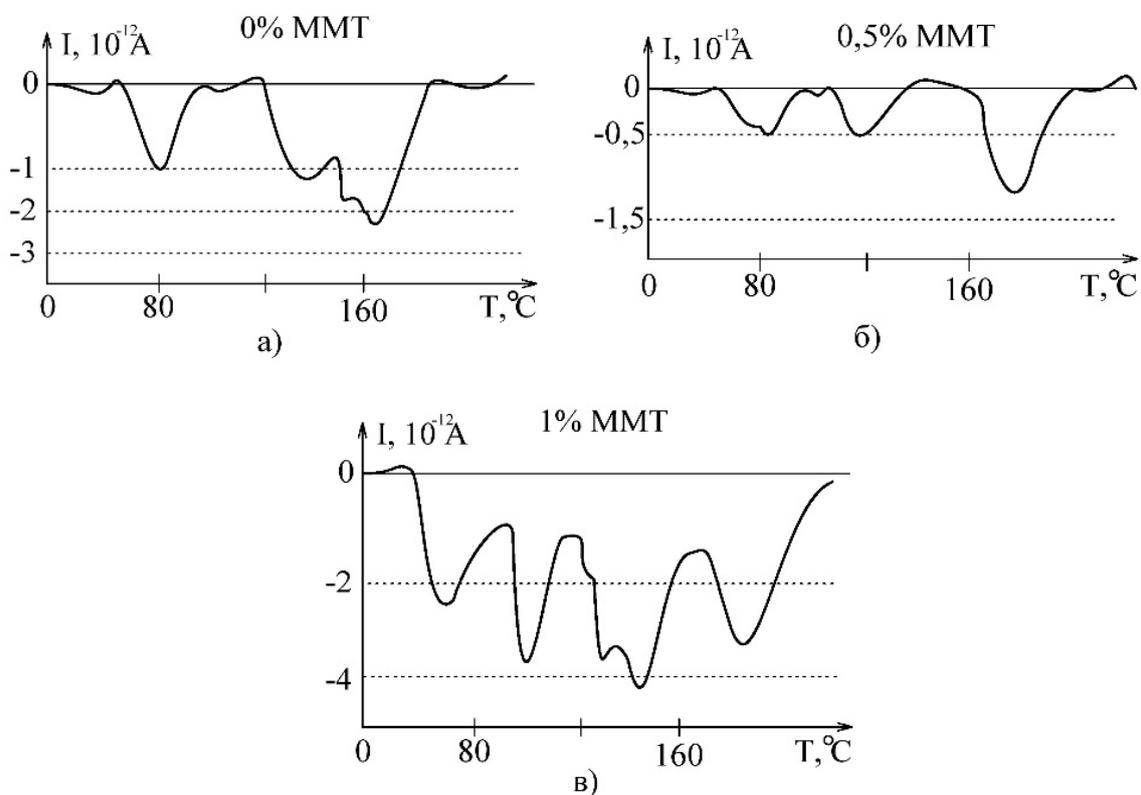


Рисунок 1 – ТСТ спектры пленок ПЛА с различным содержанием ММТ

Для образцов с содержанием ММТ 0,5 % (рисунок 1 б) характерен сдвиг высокотемпературного пика тока в область более высоких температур. Интенсивность остальных пиков меньше, чем у ненаполненных образцов.

Образцы с содержанием ММТ 1% (рисунок 1 в) отличаются более высокой интенсивностью токовых пиков, низкотемпературный пик сместился в область более низких температур, при этом на температурной шкале появилась дополнительная группа пиков ТСТ, свидетельствующая о том, что суммарный объём выделенного заряда больше, чем у остальных групп образцов.

По результатам проведённого исследования можно сделать следующий вывод: добавление наннодисперсного монтмориллонита влияет на электреты свойства образцов, а введение 1% ММТ привело к увеличению интенсивности пиков тока на спектре ТСТ и суммарного заряда образцов.

## Литература

1. Электретный эффект в полимерных нанокompозитах (Обзор) / В. А. Гольдаде [и др.] // Полимерные материалы и технологии. – 2019. – Т. 5, № 2. – С. 6–18.

**А. С. Корольков, Е. Д. Сафроненко**

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЩЕЛОЧНОГО ЧИСЛА СИНТЕТИЧЕСКОГО МОТОРНОГО МАСЛА МАРКИ НАФТАН ПРЕМЬЕР SAE 5W-40**

Одним из наиболее важных эксплуатационных показателей моторного масла является щелочное число. Названный показатель моторного масла указывает на то, как долго моторное масло может нейтрализовать вредные для него кислоты, образующиеся при деструкции масла, которые впоследствии вызывают коррозионный износ деталей двигателя и усиливают процессы образования различных углеродистых отложений на элементах цилиндро-поршневой группы двигателя. Для нейтрализации вредных кислот используют присадку гидроксид калия – КОН. Единицей измерения щелочного числа является мг·КОН/г. Физически единица измерения щелочного числа означает, что количество гидроксида эквивалентно по своему действию пакету присадок. Чем больше значение щелочного числа моторного масла, тем более длительный срок моторное масло сможет нейтрализовать действие кислот, образующихся при окислении масла и сгорании топлива [1, 2]. В странах Евросоюза и США не рекомендуют использовать моторные масла со значением щелочного числа более 6 мг·КОН/г. В то же время в странах СНГ принято использовать моторные масла, щелочное число которых не менее 9 мг·КОН/г [3, 4].

В ходе выполнения настоящей работы выполнены исследования по изменению щелочного числа синтетического моторного масла марки Нафтан Премьер SAE 5W-40 в зависимости от величины пробега легкового транспортного средства. В качестве подвижного состава принят новый легковой автомобиль марки Skoda Rapid, оборудованный бензиновым двигателем (4 цилиндра) с распределенным впрыском топлива объемом 1 598 см<sup>3</sup>. Методика проведения исследований по отбору образцов моторного масла изложена в работах [3].

Щелочное число определяли с использованием сертифицированного оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ 30050–93 «Нефтепродукты. Общее щелочное число. Метод потенциометрического титрования хлорной кислотой» [5]. Для определения щелочного числа моторного масла использовали прибор – иономер модели И-160МИ. В основу работы прибора положен потенциометрический метод измерений анализируемого раствора. Работа преобразователя основана на преобразовании сопротивления термодатчика и электродвижущей силы электродной системы соответственно в значение температуры раствора и значения показателя концентрации ионов в данном растворе. Результаты исследований по определению значения щелочного числа моторного масла марки Нафтан Премьер SAE 5W-40 в зависимости от пробега транспортного средства представлены на рисунке 1.

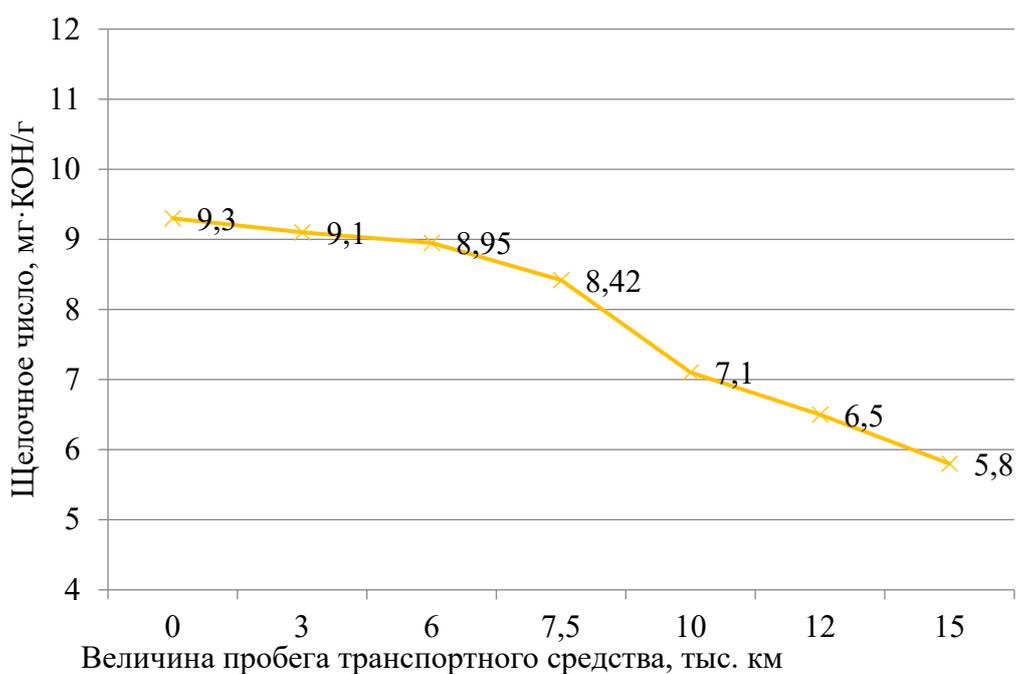


Рисунок 1 – Результаты исследования щелочного числа синтетического моторного масла марки Нафтан Премьер SAE 5W-40 при увеличении величины пробега транспортного средства

Представленные на рисунке 1 экспериментальные данные по изменению щелочного числа моторного масла марки Лукойл Люкс SAE 5W-40, показывают, что исследуемый показатель с увеличением пробега транспортного средства до 15 тыс. км снижается. Показано (рисунок 1), что значение щелочного числа моторного масла марки Нафтан Премьер SAE 5W-40 при пробеге транспортным средством

15 тыс. км уменьшилось на величину равную 3,5 мг·КОН/г. Установлено, что существенное изменение значения щелочного числа наблюдается в интервале пробега от 6 тыс. км до 10 тыс. км с 8,95 мг·КОН/г до 7,1 мг·КОН/г. При увеличении пробега от 10 тыс. км до 15 тыс. км в среднем исследуемый показатель через каждые последующие 3 тыс. км снижается на 0,43 мг·КОН/г. Известно [1, 2], что в случае снижения значения эксплуатационного показателя моторного масла более чем на 30 % моторное масло следует заменить в ближайшее время.

В результате выполненных исследований установлено, что при пробеге транспортным средством до рекомендуемого срока замены моторного масла (15 тыс. км) значение щелочного числа в сравнении с исходным значением уменьшилось почти 38,7 %, что свидетельствует о необходимости досрочной замены данного моторного масла, ввиду потери им эксплуатационного показателя (щелочное число). Рекомендуемым периодом замены данного моторного масла следует считать интервал пробега транспортного средства 12 тыс. км.

При несвоевременной замене моторного масла ввиду низкого значения щелочного числа моторного масла, некоторое число непрореагировавших соединений будет оседать в виде шлама и сажи на частях системы смазки двигателя, засоряя масляные каналы и ухудшая циркуляцию, что приведет к «масляному голоданию» распределительного вала, и как следствие, износу его опорных шеек, а также к засорению масляных каналов в коленчатом валу, что приведет к преждевременному срабатыванию вкладышей [1, 2].

## Литература

1. Корольков, А. С. Исследование изменения щелочного числа синтетического моторного масла марки Shell SAE 5W40, используемого в бензиновых двигателях внутреннего сгорания / А. С. Корольков, Н. Н. Алифировец // Актуальные вопросы физики и техники : X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апр. 2021 г.) : материалы : в 2 ч. Ч.1. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 120–123.

2. Линько, Р. А. Исследование изменения щелочного числа синтетического моторного масла марки Motul SAE 5W30, используемого в бензиновых двигателях внутреннего сгорания / Р. А. Линько, Н. В. Медведева // Актуальные вопросы физики и техники : X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апр.

2021 г.) : материалы : в 2 ч. Ч.1. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 135–138.

3. Нефтепродукты. Общее щелочное число. Метод потенциометрического титрования хлорной кислотой: ГОСТ 30050–93; введ. Респ. Беларусь 01.01.96. – Минск : Белстандарт, 1995. – 14 с.

**А. С. Корольков, А. Р. Кот, Н. Н. Алифировец**  
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЩЕЛОЧНОГО ЧИСЛА СИНТЕТИЧЕСКОГО МОТОРНОГО МАСЛА МАРКИ ЛУКОЙЛ ЛЮКС SAE 5W-40, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Одним из наиболее важных эксплуатационных показателей моторного масла является щелочное число. Названный показатель моторного масла указывает на то, как долго моторное масло может нейтрализовать вредные для него кислоты, образующиеся при деструкции масла, которые впоследствии вызывают коррозионный износ деталей двигателя и усиливают процессы образования различных углеродистых отложений на элементах цилиндрико-поршневой группы двигателя. Для нейтрализации вредных кислот используют присадку гидроксид калия – КОН. Единицей измерения щелочного числа является мг·КОН/г. Физически единица измерения щелочного числа означает, что количество гидроксида эквивалентно по своему действию пакету присадок. Чем больше значение щелочного числа моторного масла, тем более длительный срок моторное масло сможет нейтрализовать действие кислот, образующихся при окислении масла и сгорании топлива [1, 2]. В странах Европы и США не рекомендуют использовать моторные масла со значением щелочного числа более 6 мг·КОН/г. В то же время в странах СНГ принято использовать моторные масла, щелочное число которых не менее 9 мг·КОН/г [3, 4].

В ходе выполнения настоящей работы выполнены исследования по изменению щелочного числа синтетического моторного масла марки Лукойл Люкс SAE 5W-40 в зависимости от величины пробега легкового транспортного средства. В качестве подвижного состава принят новый легковой автомобиль марки Skoda Rapid, оборудован-

ный бензиновым двигателем (4 цилиндра) с распределенным впрыском топлива объемом 1 598 см<sup>3</sup>. Методика проведения исследований по отбору образцов моторного масла изложена в работах [3, 4]. Щелочное число определяли с использованием сертифицированного оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ 30050–93 «Нефтепродукты. Общее щелочное число. Метод потенциометрического титрования хлорной кислотой» [5]. Для определения щелочного числа моторного масла использовали прибор – иономер модели И-160МИ. В основу работы прибора положен потенциометрический метод измерений анализируемого раствора. Работа преобразователя основана на преобразовании сопротивления термодатчика и электродвижущей силы электродной системы соответственно в значение температуры раствора и значения показателя концентрации ионов в данном растворе. Результаты исследований по определению значения щелочного числа моторного масла марки Лукойл Люкс SAE 5W-40 в зависимости от пробега транспортного средства представлены на рисунке 1.

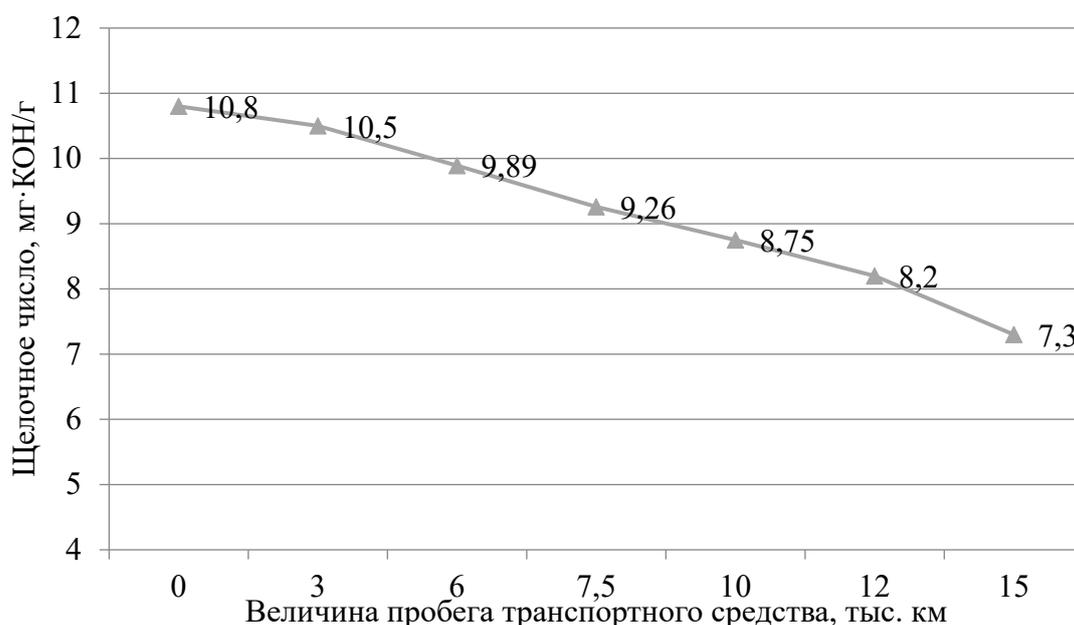


Рисунок 1 – Результаты исследования щелочного числа синтетического моторного масла марки Лукойл Люкс SAE 5W-40 при увеличении величины пробега транспортного средства

Представленные на рисунке 1 экспериментальные данные по изменению щелочного числа моторного масла марки Лукойл Люкс SAE 5W-40, показывают, что исследуемый показатель с увеличением пробега транспортного средства до 15 тыс. км снижается. Показано

(рисунок 1), что значение щелочного числа моторного масла марки Лукойл Люкс SAE 5W-40 при пробеге транспортным средством 15 тыс. км уменьшилось на величину равную 3,5 мг·КОН/г. Установлено, что существенное изменение значения щелочного числа наблюдается в интервале пробега от 6 тыс. км до 10 тыс. км с 9,89 мг·КОН/г до 7,3 мг·КОН/г. При увеличении пробега от 10 тыс. км до 15 тыс. км в среднем исследуемый показатель через каждые последующие 3 тыс. км снижается на 0,48 мг·КОН/г. Известно [1–4], что в случае снижения значения эксплуатационного показателя моторного масла более чем на 30 % моторное масло следует заменить в ближайшее время. В результате выполненных исследований установлено, что при пробеге транспортным средством до рекомендуемого срока замены моторного масла (15 тыс. км) значение щелочного числа в сравнении с исходным значением уменьшилось почти 32,5 %, что свидетельствует о необходимости досрочной замены данного моторного масла, ввиду потери им эксплуатационного показателя (щелочное число). Рекомендуемым периодом замены данного моторного масла следует считать интервал пробега транспортного средства 12 тыс. км.

При несвоевременной замене моторного масла ввиду низкого значения щелочного числа моторного масла, некоторое число непрореагировавших соединений будет оседать в виде шлама и сажи на частях системы смазки двигателя, засоряя масляные каналы и ухудшая циркуляцию. Данные процессы в последствие, могут привести к «масляному голоданию» распределительного вала, и как следствие, износу его опорных шеек, а также к засорению масляных каналов в коленчатом валу, что приведет к преждевременному срабатыванию вкладышей [1–4].

## Литература

1. Шпак, Е. Д. Физико-химические показатели качества моторного масла / Е. Д. Шпак, В. И. Митрофанова // Вестник АмГУ. – 2019. – № 85. – С.103–106.
2. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: учебн. пособие / В. В. Остриков [и др.]. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 304 с.
3. Корольков, А. С. Исследование изменения щелочного числа синтетического моторного масла марки Shell SAE 5W40, используемого в бензиновых двигателях внутреннего сгорания / А. С. Корольков, Н. Н. Алифировец // Актуальные вопросы физики и

техники : X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апр. 2021 г.) : материалы : в 2 ч. Ч.1. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 120–123.

4. Линько, Р. А. Исследование изменения щелочного числа синтетического моторного масла марки Motul SAE 5W30, используемого в бензиновых двигателях внутреннего сгорания / Р. А. Линько, Н. В. Медведева // Актуальные вопросы физики и техники : X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апр. 2021 г.) : материалы : в 2 ч. Ч.1. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 135–138.

5. Нефтепродукты. Общее щелочное число. Метод потенциометрического титрования хлорной кислотой: ГОСТ 30050–93; введ. Респ. Беларусь 01.01.96. – Минск : Белстандарт, 1995. – 14 с.

**А. Р. Кот, А. С. Корольков, К. С. Криштова**  
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ СИНТЕТИЧЕСКОГО МОТОРНОГО МАСЛА МАРКИ ЛУКОЙЛ ЛЮКС SAE 5W-40**

С точки зрения важности влияния на долговечность работы двигателя внутреннего сгорания кинематическую вязкость моторного масла выделяют наряду с другими показателями, такими как: щелочное число, температура вспышки в открытом тигле, плотность и др. Кинематическая вязкость моторного масла определяет: толщину масляной пленки, образующуюся на поверхностях трения в процессе работы двигателя; степень износа деталей двигателя; надежность смазывания при высоких температурах; потери на трение и расход топлива [1–5].

Цель работы – исследование изменения кинематической вязкости синтетического моторного масла марки Лукойл Люкс SAE 5W-40 при температуре 100 °С в зависимости от величины пробега легкового транспортного средства.

Методика отбора проб изложена в работах [1–5]. Нагрев исследуемых образцов моторного масла и поддержание заданной температуры (100 °С) осуществляли с использованием термостатирующего

прибора модели «Термостат А2». Время истечения моторного масла при указанной температуре определяли методом вискозиметрии в соответствии с требованиями ГОСТ 33–2000 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости» с использованием капиллярного вискозиметра марки ВПЖ-4 с диаметром капилляра 1,47 мм. Кинематическую вязкость каждого образца моторного масла рассчитывали, используя формулу [1–5]:

$$\nu = \Pi \cdot t, \text{ мм}^2/\text{с}; \quad (1)$$

где  $\Pi$  – калибровочная постоянная вискозиметра,  $\text{мм}^2/\text{с}$ . Калибровочная постоянная вискозиметра марки ВПЖ-4 составляла значение 0,3;

$t$  – время истечения образца моторного масла из вискозиметра, с.

Результаты исследований кинематической вязкости моторного масла марки Лукойл Люкс SAE 5W-40 измеренной при 100 °С представлены на рисунке 1. Представленные на рисунке 1 экспериментальные данные показывают, что исследуемый показатель с увеличением величины пробега транспортного средства до 15 тыс. км постоянно снижается, что объясняется так называемым «естественным старением» масла. Установлено, что кинематическая вязкость, измеренная при 100 °С, при пробеге транспортным средством 15 тыс. км при использовании моторного масла Лукойл Люкс SAE 5W-40 снизилась на 3,4  $\text{мм}^2/\text{с}$ . При этом наиболее интенсивное снижение кинематической вязкости исследуемого моторного масла при 100 °С происходит в интервале пробега транспортным средством от 7,5 до 15 тыс. км. Установлено, что при пробеге транспортным средством 10 тыс. км кинематическая вязкость, измеренная при 100 °С, уменьшилась на 11,1 %.

Кинематическая вязкость, измеренная при 100 °С при пробеге транспортным средством значения до 7,5 тыс. км изменяется по линейной зависимости в среднем через каждые 3 тыс. км на 1,1  $\text{мм}^2/\text{с}$ . При пробеге от 7,5 до 15 тыс. км при работе двигателя на моторном масле Лукойл Люкс SAE 5W-40 исследуемый эксплуатационный показатель моторного масла снижается с 13,5  $\text{мм}^2/\text{с}$  до 8,3  $\text{мм}^2/\text{с}$ . Можно видеть (рисунок 1), что в результате пробега транспортным средством до рекомендуемого срока замены масла (15 тыс. км) кинематическая вязкость при 100 °С при применении исследуемого моторного масла, в сравнении с исходным значением уменьшилась на 38,6 %.



Рисунок 1 – Результаты исследования кинематической вязкости синтетического моторного масла Лукойл Люкс SAE 5W-40 при 100 °С при увеличении величины пробега транспортного средства

Основными причинами снижения кинематической вязкости могут быть: неполное сгорание топливно-воздушной смеси, а также утечка из системы питания в моторное масло топлива (бензин). Таким образом установлено, что моторное масло марки Лукойл Люкс SAE 5W-40 целесообразнее заменить после 10 тыс. км пробега, а не после 15 тыс. км пробега (рекомендуемый пробег транспортного средства [1–6] перед заменой моторного масла), ввиду снижения кинематической вязкости моторного масла, измеренной при 100 °С более чем на 30 %.

## Литература

1. Пивоварчик, А. А. Исследование температурно-вязкостных показателей полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях механических транспортных средств / А. А. Пивоварчик, А. И. Сергей // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6. Тэхніка. – 2019. – Т. 9. – № 1. – С. 78–87.
2. Пивоварчик, А. А. Исследование эксплуатационных показателей синтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях легковых механических транспортных средств / А. А. Пивоварчик, А. С. Корольков, Н. Н. Алифировец // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6, Тэхніка. – 2021. – Т. 11. – № 2. – С. 21–27.
3. Воляк, Е. В. Исследование изменения кинематической вязкости синтетического моторного масла Shell Helix Ultra Professional AV

марки SAE 5W40 / Е. В. Воляк, Н. Н. Алифировец, А. С. Корольков // Актуальные вопросы физики и техники: X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов: материалы: в 2 ч. Ч. 1., Гомель, 22 апр. 2021 г. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол.: Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 46–49.

4. Песецкий, В. А. Определение кинематической вязкости синтетического моторного масла Shell марки SAE 5W40 / В. А. Песецкий, Н. Н. Алифировец, А. С. Корольков // Актуальные вопросы физики и техники : X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апр. 2021 г.) : материалы : в 2 ч. Ч.1. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 175–178.

5. Линько, Р. А. Исследование изменения кинематической вязкости синтетического моторного масла марки Motul SAE 5W30 / Р. А. Линько // Актуальные вопросы физики и техники : X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апр. 2021 г.) : материалы : в 2 ч. Ч.1. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 138–141.

**А. Р. Кот, А. С. Корольков**

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ СИНТЕТИЧЕСКОГО МОТОРНОГО МАСЛА МАРКИ НАФТАН ПРЕМЬЕР SAE 5W-40**

С точки зрения важности влияния на долговечность работы двигателя внутреннего сгорания кинематическую вязкость моторного масла выделяют наряду с другими показателями, такими как: щелочное число, температура вспышки в открытом тигле, плотность и др. Кинематическая вязкость моторного масла определяет: толщину масляной пленки, образующуюся на поверхностях трения в процессе работы двигателя; степень износа деталей двигателя; надежность смазывания при высоких температурах; потери на трение и расход топлива [1–5].

В настоящей работе приведены результаты исследования изменения кинематической вязкости синтетического моторного масла марки Нафтан Премьер SAE 5W-40 при температуре 100 °С в зависимости от величины пробега транспортного средства.

В качестве подвижного состава был принят новый легковой автомобиль марки Skoda Rapid, оборудованный бензиновым двигателем (4 цилиндра) с распределенным впрыском топлива объемом 1 598 см<sup>3</sup>. Отбор проб производили из трех автомобилей. Нагрев моторного масла и поддержание заданной температуры (100 °С) осуществляли с использованием термостатирующего прибора модели «Термостат А2». Время истечения моторного масла при указанной температуре определяли методом вискозиметрии в соответствии с требованиями ГОСТ 33–2000 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости» с использованием капиллярного вискозиметра марки ВПЖ-4 с диаметром капилляра 1,47 мм. Кинематическую вязкость каждого образца моторного масла рассчитывали, используя формулу [1–5]:

$$\nu = \Pi \cdot t, \text{ мм}^2/\text{с}; \quad (1)$$

где  $\Pi$  – калибровочная постоянная вискозиметра, мм<sup>2</sup>/с. Калибровочная постоянная вискозиметра марки ВПЖ-4 составляла значение 0,3;

$t$  – время истечения образца моторного масла из вискозиметра, с.

Результаты исследований кинематической вязкости моторного масла марки Нафтан Премьер SAE 5W-40 измеренной при 100 °С представлены на рисунке 1. Представленные на рисунке 1 экспериментальные данные показывают, что исследуемый показатель с увеличением величины пробега транспортного средства до 15 тыс. км постоянно снижается, что объясняется так называемым «естественным старением» масла. Установлено, что кинематическая вязкость, измеренная при 100 °С, при пробеге транспортным средством 15 тыс. км при использовании моторного масла Нафтан Премьер SAE 5W-40 снизилась на 6,5 мм<sup>2</sup>/с. При этом наиболее интенсивное снижение кинематической вязкости исследуемого моторного масла при 100 °С происходит в интервале пробега транспортным средством от 7,5 до 15 тыс. км. Установлено, что при пробеге транспортным средством 10 тыс. км кинематическая вязкость, измеренная при 100 °С уменьшилась на 11,6 %. Кинематическая вязкость, измеренная при 100 °С при пробеге транспортным средством значения до 7,5 тыс. км изменяется по линейной зависимости в среднем через каждые 3 тыс. км на 0,63 мм<sup>2</sup>/с. При пробеге от 7,5 до 15 тыс. км при работе двигателя на моторном масле Нафтан Премьер SAE 5W-40 исследуемый эксплуатационный показатель моторного масла снижается с 12,0 мм<sup>2</sup>/с до 8,2 мм<sup>2</sup>/с. Можно видеть (рисунок 1), что в результате пробега транс-

портным средством до рекомендуемого срока замены масла (15 тыс. км) кинематическая вязкость при 100 °С при применении исследуемого моторного масла, в сравнении с исходным значением уменьшилась на 44,3 %.

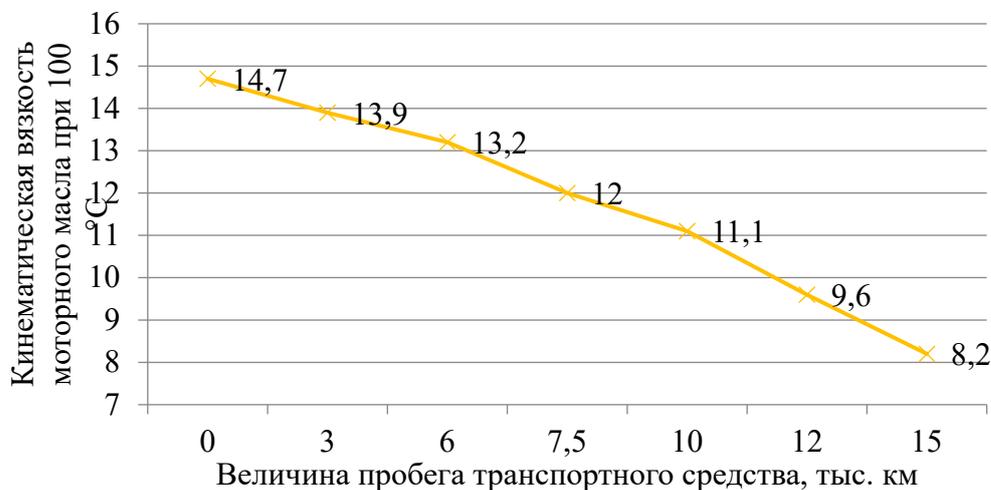


Рисунок 1 – Результаты исследования кинематической вязкости синтетического моторного масла Нафтан Премьер SAE 5W-40 при 100 °С при увеличении величины пробега транспортного средства

Таким образом, в результате исследований установлено, что моторное масло Нафтан Премьер целесообразнее заменить после 10 тыс. км пробега, а не после 15 тыс. км пробега (рекомендуемый пробег транспортного средства [1–5] перед заменой моторного масла), ввиду снижения кинематической вязкости моторного масла, измеренной при 100 °С более чем на 30 %.

## Литература

1. Пивоварчик, А. А. Исследование температурно-вязкостных показателей полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях механических транспортных средств / А. А. Пивоварчик, А. И. Сергей // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6. Тэхніка. – 2019. – Т.9. – № 1. – С. 78–87.

2. Пивоварчик, А. А. Исследование эксплуатационных показателей синтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях легковых механических транспортных средств / А. А. Пивоварчик, А. С. Корольков, Н. Н. Алифировец // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6, Тэхніка. – 2021. – Т. 11. – № 2. – С. 21–27.

3. Воляк, Е. В. Исследование изменения кинематической вязкости синтетического моторного масла Shell Helix Ultra Professional AV марки SAE 5W40 / Е. В. Воляк, Н. Н. Алифировец, А. С. Корольков // Актуальные вопросы физики и техники : X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апр. 2021 г.) : материалы : в 2 ч. Ч.1. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 46–49.

4. Песецкий, В. А. Определение кинематической вязкости синтетического моторного масла Shell марки SAE 5W40 / В. А. Песецкий, Н. Н. Алифировец, А. С. Корольков // Актуальные вопросы физики и техники : X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апр. 2021 г.) : материалы : в 2 ч. Ч.1. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 175–178.

5. Линько, Р. А. Исследование изменения кинематической вязкости синтетического моторного масла марки Motul SAE 5W30 / Р. А. Линько // Актуальные вопросы физики и техники : X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апр. 2021 г.) : материалы : в 2 ч. Ч.1. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 138–141.

**К. С. Криштова, А. С. Корольков**

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ СИНТЕТИЧЕСКОГО МОТОРНОГО МАСЛА МАРКИ ЛУКОЙЛ ЛЮКС SAE 5W-40**

С точки зрения важности влияния на долговечность работы двигателя внутреннего сгорания кинематическую вязкость моторного масла выделяют наряду с другими показателями, такими как: щелочное число, температура вспышки в открытом тигле, плотность и др. Кинематическая вязкость моторного масла определяет: толщину масляной пленки, образующуюся на поверхностях трения в процессе работы двигателя; степень износа деталей двигателя; надежность смазывания при высоких температурах; потери на трение и расход топлива [1].

В настоящей работе приведены результаты исследования изменения кинематической вязкости синтетического моторного масла марки

Лукойл Люкс SAE 5W-40 при температуре 40 °С в зависимости от величины пробега транспортного средства.

В качестве подвижного состава был принят новый легковой автомобиль марки Skoda Rapid, оборудованный бензиновым двигателем (4 цилиндра) с распределенным впрыском топлива объемом 1 598 см<sup>3</sup>. Отбор проб производили из трех автомобилей. Нагрев моторного масла и поддержание заданной температуры (40 °С) осуществляли с использованием термостатирующего прибора модели «Термостат А2». Время истечения моторного масла при указанной температуре определяли методом вискозиметрии в соответствии с требованиями ГОСТ 33–2000 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости» с использованием капиллярного вискозиметра марки ВПЖ-4 с диаметром капилляра 1,47 мм. Кинематическую вязкость каждого образца моторного масла рассчитывали, используя формулу [2, 3]:

$$\nu = \Pi \cdot t, \text{ мм}^2/\text{с}; \quad (1)$$

где  $\Pi$  – калибровочная постоянная вискозиметра, мм<sup>2</sup>/с. Калибровочная постоянная вискозиметра марки ВПЖ-4 составляла значение 0,3;

$t$  – время истечения образца моторного масла из вискозиметра, с.

Результаты исследований кинематической вязкости моторного масла марки Лукойл Люкс SAE 5W-40 при 40 °С представлены на рисунке 1. Представленные на рисунке 1 экспериментальные данные показывают, что исследуемый показатель с увеличением величины пробега транспортного средства до 15 тыс. км постоянно снижается, что объясняется так называемым «естественным старением» масла. Установлено, что кинематическая вязкость, измеренная при 40 °С, при пробеге транспортным средством 15 тыс. км при использовании моторного масла Лукойл Люкс SAE 5W-40 снизилась на 17,2 мм<sup>2</sup>/с. При этом наиболее интенсивное снижение кинематической вязкости исследуемого моторного масла при 40 °С происходит в интервале пробега транспортным средством от 7,5 до 15 тыс. км. Установлено, что при пробеге транспортным средством 10 тыс. км кинематическая вязкость, измеренная при 40 °С уменьшилась на 20,0 %.

Кинематическая вязкость, измеренная при 40 °С при пробеге транспортным средством значения от 7,5 до 15 тыс. км при работе двигателя на моторном масле Лукойл Люкс SAE 5W-40 снижается с 69,7 мм<sup>2</sup>/с до 60,6 мм<sup>2</sup>/с. Можно видеть (рисунок 1), что в результате пробега транспортным средством до рекомендуемого срока замены

масла (15 тыс. км) кинематическая вязкость при 40 °С при применении исследуемого моторного масла, в сравнении с исходным значением уменьшилась на 22,1 %.

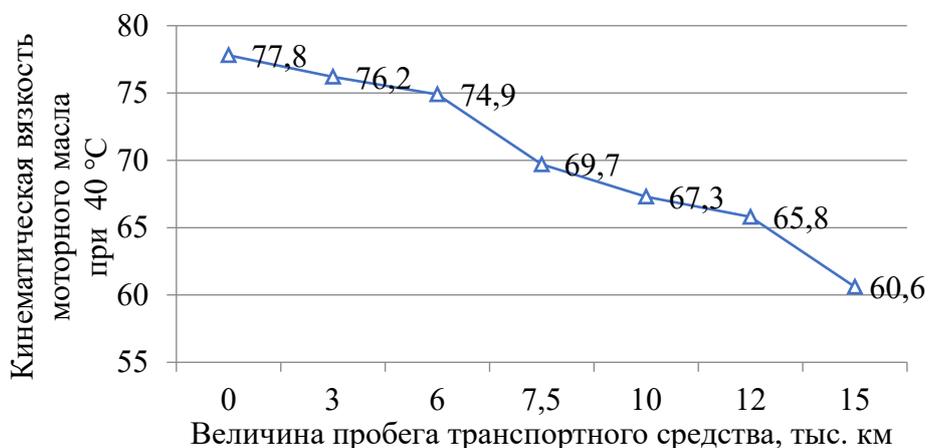


Рисунок 1 – Результаты исследования кинематической вязкости синтетического моторного масла Лукойл Люкс SAE 5W-40 при 40 °С при увеличении величины пробега транспортного средства

Причинами снижения кинематической вязкости могут быть: неполное сгорание топливно-воздушной смеси, а также утечка из системы питания в моторное масло топлива (бензин). Под воздействием легких фракций топлива, моторное масло будет окисляться значительно быстрее, и как следствие, образующиеся при этом органические кислоты и отложения значительно ухудшают его качество, снижая кинематическую вязкость. В результате возможно повреждение подшипников, на деталях двигателя интенсивнее образуются нагар и лаковые отложения, что в свою очередь способствует увеличению количества механических примесей в моторном масле.

Таким образом, в результате исследований установлено, что моторное масло Лукойл Люкс SAE 5W-40 целесообразнее заменить после 10–12 тыс. км пробега, а не после 15 тыс. км пробега (рекомендуемый пробег транспортного средства [3–5]), ввиду снижения кинематической вязкости моторного масла, измеренной при 40 °С более чем на 20 %.

## Литература

1. Пивоварчик, А. А. Исследование температурно-вязкостных показателей полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях механических транспортных средств /

А. А. Пивоварчик, А. И. Сергей // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6. Тэхніка. – 2019. – Т.9. – № 1. – С. 78–87.

2. Пивоварчик, А. А. Исследование эксплуатационных показателей синтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях легковых механических транспортных средств / А. А. Пивоварчик, А. С. Корольков, Н. Н. Алифировец // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6, Тэхніка. – 2021. – Т. 11. – № 2. – С. 21–27.

3. Трофименко, И. Л. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. Пособие / И. Л. Трофименко, Н. А. Коваленко, В. П. Лобах. – Минск: Новое знание, 2008. – 232 с.

4. Зарочинцев, Ю. М. Моторные масла. Причины загрязнения моторных масел : учебн. пособие / Ю. М. Зарочинцев. – Челябинск: Челябин. гос. техн. ун-т., 1992. – 38 с.

5. Техническое обслуживание и ремонт автомобильных транспортных средств. Нормы и правила проведения: ТКП 248–2010 (02190). – Введ. 01.07.10. – Минск: Транстехника, 2012. – 42 с.

**К. С. Криштова, А. С. Корольков, Н. Н. Алифировец**  
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ СИНТЕТИЧЕСКОГО МОТОРНОГО МАСЛА МАРКИ НАФТАН ПРЕМЬЕР SAE 5W-40**

С точки зрения важности влияния на долговечность работы двигателя внутреннего сгорания кинематическую вязкость моторного масла выделяют наряду с другими показателями, такими как: щелочное число, температура вспышки в открытом тигле, плотность и др. Кинематическая вязкость моторного масла определяет: толщину масляной пленки, образующуюся на поверхностях трения в процессе работы двигателя; степень износа деталей двигателя; надежность смазывания при высоких температурах; потери на трение и расход топлива [1]. В настоящей работе приведены результаты исследования изменения кинематической вязкости синтетического моторного масла марки Нафтан Премьер SAE 5W-40 при температуре 40 °С в зависимости от величины пробега транспортного средства.

В качестве подвижного состава был принят новый легковой автомобиль марки Skoda Rapid, оборудованный бензиновым двигателем

(4 цилиндра) с распределенным впрыском топлива объемом 1 598 см<sup>3</sup>. Отбор проб производили из трех автомобилей. Нагрев моторного масла и поддержание заданной температуры (40 °С) осуществляли с использованием термостатирующего прибора модели «Термостат А2». Время истечения моторного масла при указанной температуре определяли методом вискозиметрии в соответствии с требованиями ГОСТ 33–2000 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости» с использованием капиллярного вискозиметра марки ВПЖ-4 с диаметром капилляра 1,47 мм. Кинематическую вязкость каждого образца моторного масла рассчитывали, используя формулу [2, 3]:

$$\nu = \Pi \cdot t, \text{ мм}^2/\text{с}; \quad (1)$$

где  $\Pi$  – калибровочная постоянная вискозиметра, мм<sup>2</sup>/с. Калибровочная постоянная вискозиметра марки ВПЖ-4 составляла значение 0,3;

$t$  – время истечения образца моторного масла из вискозиметра, с.

Результаты исследований кинематической вязкости моторного масла марки Нафтан Премьер SAE 5W-40 измеренной при 40 °С представлены на рисунке 1. Представленные на рисунке 1 экспериментальные данные показывают, что исследуемый показатель с увеличением величины пробега транспортного средства до 15 тыс. км постоянно снижается, что объясняется так называемым «естественным старением» масла. Установлено, что кинематическая вязкость, измеренная при 40 °С, при пробеге транспортным средством 15 тыс. км при использовании моторного масла Нафтан Премьер SAE 5W-40 снизилась на 24,1 мм<sup>2</sup>/с. При этом наиболее интенсивное снижение кинематической вязкости исследуемого моторного масла при 40 °С происходит в интервале пробега транспортным средством от 7,5 до 15 тыс. км. Установлено, что при пробеге транспортным средством 10 тыс. км кинематическая вязкость, измеренная при 40 °С, уменьшилась на 16,4 %.

Кинематическая вязкость, измеренная при 40 °С при пробеге транспортным средством значения до 7,5 тыс. км изменяется по линейной зависимости в среднем через каждые 3 тыс. км на 5,05 мм<sup>2</sup>/с. При пробеге от 7,5 до 15 тыс. км при работе двигателя на моторном масле Нафтан Премьер SAE 5W-40 исследуемый эксплуатационный показатель моторного масла снижается с 71,5 мм<sup>2</sup>/с до 61,4 мм<sup>2</sup>/с. Можно видеть (рисунок 1), что в результате пробега транспортным средством до рекомендуемого срока замены масла (15 тыс. км) кинематическая вязкость снижается на 13,1 мм<sup>2</sup>/с, что составляет 18,5 % от исходного значения.

матическая вязкость при 40 °С при применении исследуемого моторного масла, в сравнении с исходным значением уменьшилась на 28,2 %.

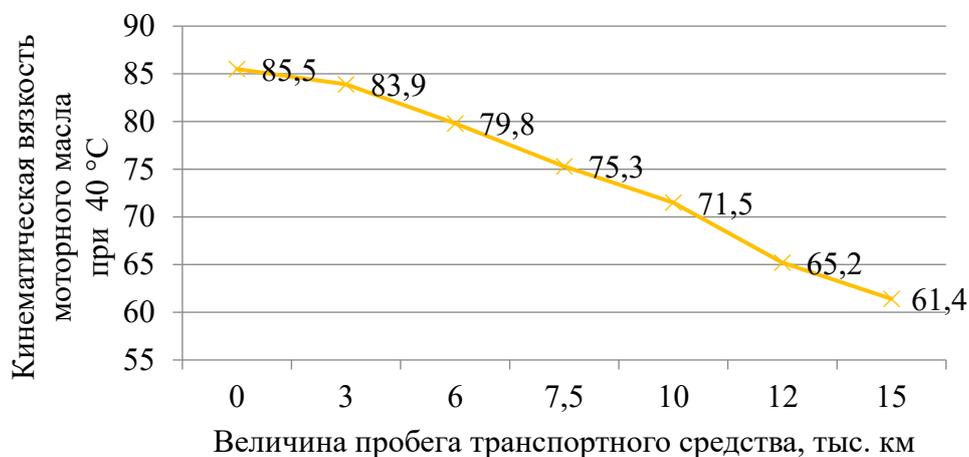


Рисунок 1 – Результаты исследования кинематической вязкости синтетического моторного масла Нафтан Премьер SAE 5W-40 при 40 °С при увеличении величины пробега транспортного средства

Причинами снижения кинематической вязкости могут быть: неполное сгорание топливно-воздушной смеси, а также утечка из системы питания в моторное масло топлива (бензин). Под воздействием легких фракций топлива, моторное масло будет окисляться значительно быстрее, и как следствие, образующиеся при этом органические кислоты и отложения значительно ухудшают его качество, снижая кинематическую вязкость. В результате возможно повреждение подшипников, на деталях двигателя интенсивнее образуются нагар и лаковые отложения, что в свою очередь способствует увеличению количества механических примесей в моторном масле.

Таким образом, в результате исследований установлено, что моторное масло Нафтан Премьер целесообразнее заменить после 10–12 тыс. км пробега, а не после 15 тыс. км пробега (рекомендуемый пробег транспортного средства [3–5] перед заменой моторного масла), ввиду снижения кинематической вязкости моторного масла, измеренной при 40 °С более чем на 20 %.

## Литература

1. Пивоварчик, А. А. Исследование температурно-вязкостных показателей полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях механических транспортных средств /

А. А. Пивоварчик, А. И. Сергей // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. – Сер. 6. Тэхніка. – 2019. – Т.9. – № 1. – С. 78–87.

2. Пивоварчик, А. А. Исследование эксплуатационных показателей синтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях легковых механических транспортных средств / А. А. Пивоварчик, А. С. Корольков, Н. Н. Алифировец // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6, Тэхніка. – 2021. – Т. 11. – № 2. – С. 21–27.

3. Трофименко, И. Л. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие/ И. Л. Трофименко, Н. А. Коваленко, В. П. Лобах. – Минск : Новое знание, 2008. – 232 с.

4. Зарочинцев, Ю. М. Моторные масла. Причины загрязнения моторных масел: учебн. пособие / Ю. М. Зарочинцев. – Челябинск : Челябин. гос. техн. ун-т., 1992. – 38 с.

5. Техническое обслуживание и ремонт автомобильных транспортных средств. Нормы и правила проведения: ТКП 248–2010 (02190). – Введ. 01.07.10. – Минск : Транстехника, 2012. – 42 с.

**М. В. Куницкий, Н. Н. Алифировец, А. С. Корольков**  
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

## **ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОБЪЕМНОЙ ДОЛИ ВОДЫ В СИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЛАХ МАРКИ ЛУКОЙЛ**

Известно, что содержание объемной доли воды в моторных маслах при эксплуатации механических транспортных средств не должно превышать величины от 0,03 % до 0,05 % от объема масла [1–4]. Наличие воды в моторном масле ведет к снижению защитных свойств масла из-за истощения моющих и диспергирующих присадок водой, вследствие чего возрастают износы деталей цилиндрово-поршневой группы (ЦПГ) и ускоряется загрязнение двигателя [1–4].

Цель настоящей работы – исследование изменения содержания объемной доли воды в синтетических моторных маслах марок Лукойл Люкс 5W-40, Лукойл Genesis Armortech 5W-40 и Лукойл Genesis Armortech Jp 5W-30 в зависимости от величины пробега легкового транспортного средства, оборудованного бензиновым двигателем внутреннего сгорания. Методика проведения исследований приведена в научных работах [1–4]. Содержание воды в моторном масле опреде-

ляли с использованием сертифицированного оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ 2477–2014 «Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды» [5]. Метод основан на исследовании образца, путем нагревания его в колбе с обратным холодильником в присутствии несмешивающегося с водой растворителя, который перегоняется совместно с водой, присутствующей в образцах [1–5]. Рекомендуемым сроком замены данных масел является пробег равный 15 тыс. км, или не реже чем через 1 год эксплуатации автомобиля. В таблице 1 представлены результаты исследования по определению объемной доли воды в синтетических моторных маслах марки Лукойл при эксплуатации легкового транспортного средства с бензиновым двигателем в зависимости от величины пробега.

Таблица 1 – Результаты определения объемной доли воды в синтетических моторных маслах марки Лукойл

Пробег транспортного средства, тыс. км	Объемная доля воды в исследуемых моторных маслах, %		
	Лукойл Люкс 5W-40	Лукойл Genesis Armortech 5W-40	Лукойл Genesis Armortech Jp 5W-30
исходное значение	следы	следы	следы
3	следы	следы	следы
6	следы	следы	следы
9	0,006	следы	следы
12	0,008	0,003	0,005
15	0,014	0,008	0,010
18	0,019	0,012	0,013
20	0,045	0,031	0,038

Можно видеть (таблица 1), что следы воды присутствуют в исследуемом образце синтетического моторного масла Лукойл Люкс 5W-40 при пробеге автомобилем до 6 тыс. км, при использовании моторных масел марок Лукойл Genesis Armortech 5W-40 и Лукойл Genesis Armortech Jp 5W-30 при пробеге автомобилем до 9 тыс. км. Далее у всех исследуемых образцов наблюдается увеличение объемной доли воды и после пробега транспортным средством 9 и 12 тыс. км составляет значения 0,006 %, 0,003 % и 0,005 % от объема моторного масла. Показано (таблица 1), что после пробега 9 тыс. км до 18 тыс. км наблюдается существенное увеличение объемной доли воды в исследуемом образце синтетического моторного масла Лукойл Люкс 5W-40 до 0,019 % (более чем в 3 раза). При использовании мо-

торных масел марок Лукойл Genesis Armortech 5W-40 и Лукойл Genesis Armortech Jp 5W-30 при пробеге автомобилем от 12 до 18 тыс. км наблюдается увеличение объемной доли воды с 0,003 % до 0,012 % (в 4 раза) и с 0,005 % до 0,013 % (в 2,6 раза) соответственно.

По результатам проведенного исследования можно утверждать, что содержание объемной доли во всех исследуемых моторных маслах марки Лукойл не превышают допустимых значений. При этом наилучшими свойствами, с точки зрения содержания объемной доли воды обладает моторное масло марки Лукойл Genesis Armortech 5W-40. Промежуточное значение получено при исследовании моторного масла марки Лукойл Genesis Armortech Jp 5W-30. Худший результат получен при использовании моторного масла марки Лукойл Люкс 5W-40.

Таким образом, можно утверждать, что замену исследуемых моторных масел марок Лукойл Люкс SAE 5W-40, Лукойл Genesis Armortech 5W-40 и Лукойл Genesis Armortech Jp 5W-30, по содержанию объемной доли воды, в целях ресурсосбережения двигателя и его частей досрочно проводить не следует. Однако, в целях принятия окончательного решения о замене масла, необходимо провести исследования по изменению остальных эксплуатационных показателей моторных масел, таких как кинематическая вязкость, щелочное число, плотность, температура вспышки в открытом тигле, наличие механических примесей и др.

## Литература

1. Алифировец, Н. Н. Исследования содержания воды в синтетическом моторном масле Shell марки 5w40 / Н. Н. Алифировец, А. С. Корольков, О. Д. Заболотный // Актуальные вопросы физики и техники : X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апр. 2021 г.) : материалы : в 2 ч. Ч.1. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 14–16.

2. Маркевич, Я. Я. Исследование изменения содержания воды в синтетическом моторном масле марки Motul SAE 5W30 в зависимости от пробега транспортного средства / Я. Я. Маркевич, Р. А. Линько, О. Д. Заболотный // Актуальные вопросы физики и техники : X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апр. 2021 г.) : материалы : в 2 ч. Ч.1. / ГГУ им.

Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 157–160.

3. Пивоварчик, А. А. Исследование эксплуатационных показателей полусинтетических моторных масел марки SAE 10W40, используемых в бензиновых двигателях / А. А. Пивоварчик, А. К. Гавриленя, О. Д. Заболотный // Вестник БарГУ. Серия. Технические науки. – 2021. – № 1 (9). – С. 77–84.

4. Пивоварчик, А. А. Исследование эксплуатационных показателей синтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях легковых механических транспортных средств / А. А. Пивоварчик, А. С. Корольков, Н. Н. Алифировец // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6. Тэхніка. – 2021. – Т. 11. – № 2. – С. 21–27.

5. Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды: ГОСТ 2477–2017. – Взамен ГОСТ 2477–65; введ. Респ. Беларусь 01.06.17. – Минск: Госстандарт, 2016. – 7 с.

**М. В. Куницкий, А. С. Корольков, Е. Д. Сафроненко**  
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

## **ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В СИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЛАХ МАРКИ ЛУКОЙЛ**

При изготовлении моторных масел, производители стремятся к тому, чтобы механические примеси отсутствовали. Зарубежные и отечественные требования стандартов допускают наличие в моторном масле механических примесей от 0,007 % до 0,015 % [1–5]. Образовавшиеся в моторном масле механические примеси вызывают повышенный износ и нагрев поверхностей трения, а также способствуют образованию шлама, который может отлагаться в маслопроводах и нарушать тем самым подвод масла к узлам трения [1–5].

Цель настоящей работы – исследование изменения содержания механических примесей в синтетических моторных маслах марок Лукойл Люкс 5W-40, Лукойл Genesis Armortech 5W-40 и Лукойл Genesis Armortech Jp 5W-30 в зависимости от величины пробега легкового транспортного средства, оборудованного бензиновым двигателем внутреннего сгорания. Методика проведения исследований приведена в научных работах [1–5]. Содержание механических примесей в ис-

следуемом моторном масле определяли с использованием сертифицированного оборудования по ГОСТ 6370–83 «Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей» [6].

Рекомендуемым сроком замены данных масел является пробег равный 15 тыс. км, или не реже чем через 1 год эксплуатации автомобиля. В таблице 1 представлены результаты исследования по определению содержания механических примесей в синтетических моторных маслах марки Лукойл при эксплуатации легкового транспортного средства с бензиновым двигателем в зависимости от величины пробега.

Таблица 1 – Результаты определения содержания механических примесей в синтетических моторных маслах марки Лукойл

Пробег транспортного средства, тыс. км	Содержание механических примесей в исследуемых моторных маслах, %		
	Лукойл Люкс 5W-40	Лукойл Genesis Armortech 5W-40	Лукойл Genesis Armortech Jp 5W-30
исходное значение	0,003	0,003	0,002
5	0,004	0,004	0,003
10	0,007	0,007	0,005
15	0,019	0,017	0,018
20	0,027	0,025	0,026

Можно видеть (таблица 1), что содержание механических примесей в исследуемых образцах синтетических моторных масел с увеличением пробега постоянно повышается. Так, при использовании моторного масла Лукойл Люкс 5W-40 при пробеге автомобилем до 20 тыс. км содержание механических примесей возрастает с 0,003 % до 0,027 %, при использовании моторных масел марок Лукойл Genesis Armortech 5W-40 и Лукойл Genesis Armortech Jp 5W-30 при аналогичном значении пробега содержание механических примесей повышается с 0,003 % и 0,002 % до 0,025 % и 0,026 % соответственно. Наиболее интенсивный рост количества механических примесей у всех масел наблюдается после 10 тыс. км пробега. Показано (таблица 1), что после пробега транспортным средством 15 тыс. км содержания механических примесей в исследуемом образце синтетического моторного масла Лукойл Люкс 5W-40 возрастает до 0,019 % (более чем в 6 раз). При использовании моторных масел марок Лукойл Genesis Armortech 5W-40 и Лукойл Genesis Armortech Jp 5W-30 при пробеге автомобилем 15 тыс. км наблюдается увеличение содержания механических примесей до 0,017 % (в 6,8 раза) и до 0,018 % (в 9 раз) соответствен-

но. После 20 тыс. км пробега значение содержания механических примесей в исследуемых моторных маслах марки Лукойл Люкс 5W-40 и Лукойл Genesis Armortech Jr 5W-30 превышает установленное и указанное в исследовательских работах [1–5] минимально допустимое значение (0,025 %). По результатам проведенного исследования можно утверждать, что минимальное содержание механических примесей после пробега транспортным средством 20 тыс. км отмечено при использовании синтетического моторного масла марки Лукойл Genesis Armortech 5W-40.

Таким образом, можно утверждать, что замену исследуемых моторных масел марок Лукойл Люкс SAE 5W-40 и Лукойл Genesis Armortech Jr 5W-30, по содержанию механических примесей, в целях ресурсосбережения двигателя и его частей можно проводить не следует. Однако, в целях принятия окончательного решения о замене масла, необходимо провести исследования по изменению остальных эксплуатационных показателей моторных масел, таких как кинематическая вязкость, щелочное число, плотность, температура вспышки в открытом тигле и др.

## Литература

1. Алифировец, Н. Н. Исследование содержания механических примесей в синтетическом моторном масле Shell марки 5w40 / Н. Н. Алифировец, А. С. Корольков // Актуальные вопросы физики и техники : X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апр. 2021 г.) : материалы : в 2 ч. Ч.1. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 16–19.

2. Божко, Е. И. Исследование изменения содержания механических примесей в синтетическом моторном масле марки Motul SAE 5W30 в зависимости от пробега транспортного средства / Е. И. Божко, Р. А. Линько // Актуальные вопросы физики и техники : X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апр. 2021 г.) : материалы : в 2 ч. Ч.1. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 35–38.

3. Ермак, О. К. Исследование изменения содержания механических примесей в полусинтетических моторных маслах, используемых в бензиновых двигателях / О. К. Ермак, О. Д. Заболотный, С. С. Нестер // Актуальные вопросы физики и техники : X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апр.

2021 г.) : материалы : в 2 ч. Ч.1. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 72–75.

4. Пивоварчик, А. А. Исследование эксплуатационных показателей полусинтетических моторных масел марки SAE 10W40, используемых в бензиновых двигателях / А. А. Пивоварчик, А. К. Гавриленя, О. Д. Заболотный // Вестник БарГУ. Серия: Технические науки. – 2021. – № 1 (9). – С. 77–84.

5. Пивоварчик, А. А. Исследование эксплуатационных показателей синтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях легковых механических транспортных средств / А. А. Пивоварчик, А. С. Корольков, Н. Н. Алифировец // Вестник ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6. Тэхніка. – 2021. – Т. 11. – № 2. – С. 21–27.

6. Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей: ГОСТ 6370–83. – Переизд. декабрь 2012 с Изм. 1 (ИУС. 1988. № 11). – Взамен ГОСТ 6370–59; введ. Респ. Беларусь 17.12.92. – Минск: Госстандарт, 2012. – 5 с.

**М. С. Лещик, С. Т. Тарасевич, А. А. Мискевич**  
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **С. Д. Лещик**, канд. техн. наук, доцент

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОЧАСТИЦ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ МОЛИБДЕНА В ВОДНОЙ СРЕДЕ**

**Введение.** Ультрадисперсные порошки находят весьма широкое практическое применение в современном мире [1–3]. Часто наночастицы используют для приготовления наносuspensions. Однако, из-за слеживания нанопорошка, в жидкости могут находиться конгломераты размером в десятки микрометров. В связи с этим, представляют интерес технологии получения наночастиц непосредственно в жидкой среде. Одной из таких технологий является импульсная лазерная абляция твердофазных мишеней в жидкости.

Целью настоящей работы явилось исследование продуктов импульсной лазерной абляции молибдена в воде.

**Методика экспериментальных исследований.** Для проведения абляции использовали Nd:YAG-лазер LS-2147. Импульсную лазерную абляцию проводили излучением с длиной волны, равной 532 нм. В качестве жидкости, в которой находились образцы при проведении

абляции, использовали дистиллированную воду. В результате получали наносuspензию – взвесь продуктов абляции в жидкости. Принципиальная схема экспериментальной установки для проведения лазерной абляции твердофазных веществ в жидких средах, состоящая из лазера, работающего в импульсном режиме, оптической фокусирующей системы, кюветы с жидкостью и мишенью, описана в литературе [4, 5].

Исследование размерных характеристик частиц проводили с использованием сканирующей зондовой микроскопии. Использовали атомно-силовой микроскоп NT-206 (производство ОДО «Микротест-машины»). Образцы для атомно-силовой микроскопии (АСМ) представляли собой кварцевое стекло с высушенной на нем пробой наносuspензии.

**Результаты и их обсуждение.** Исследован габитус и размерные характеристики частиц, генерированных методом импульсной лазерной абляции молибдена в воде. Характерный вид осадка частиц, полученных при абляции молибдена, приведен на рисунке 1.

На рисунке 2 представлены данные по размерному распределению продуктов абляции молибдена в зависимости от интенсивности энергетического воздействия на мишень, выраженную в плотности мощности лазерного излучения на поверхности образца.

Анализ изображений показывает, что продукты абляции молибдена, как в воде, так и в этаноле, характеризуются наличием частиц и конгломератов частиц округлой формы, а также пенистых образований с развитой поверхностью. Можно предположить, что в состав продуктов абляции могут входить частицы молибдена, оксидов и гидроксидов молибдена, что и обуславливает формирование различных по габитусу частиц.

Установлено, что размер частиц, образующихся при импульсной лазерной абляции молибдена в дистиллированной воде, зависит от плотности мощности лазерного излучения. В водных образцах при значениях плотности мощности излучения, равной  $3,6 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>, пик распределения частиц по размерам приходится на диапазон от 40 нм до 60 нм. С увеличением энергии в импульсе и, соответственно, плотности мощности излучения до  $8,8 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup> наблюдается смещение максимума на гистограмме распределения продуктов абляции по размерам в область 60 нм – 80 нм.

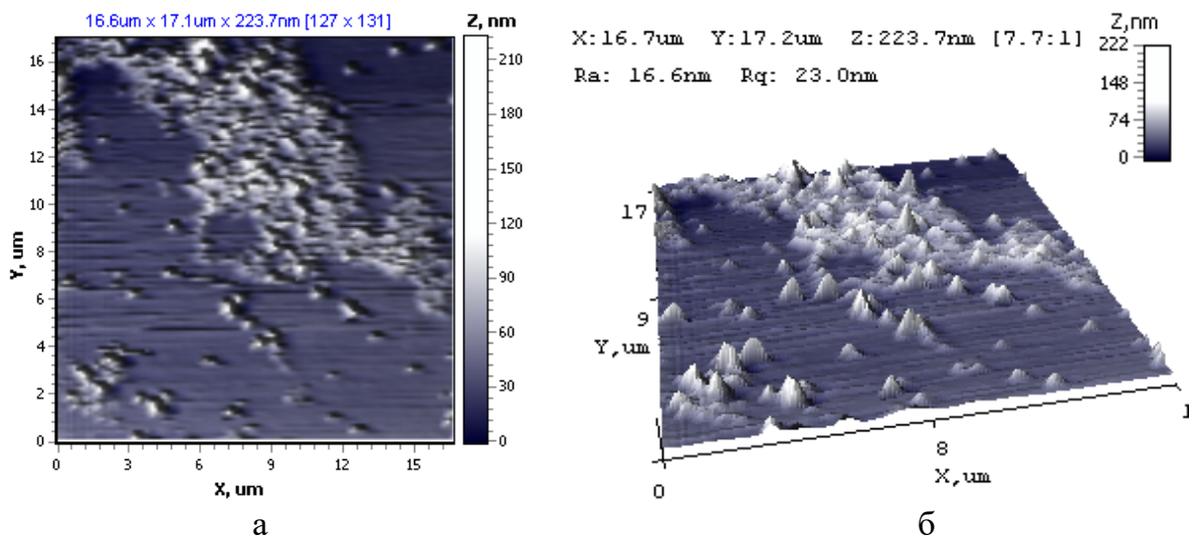
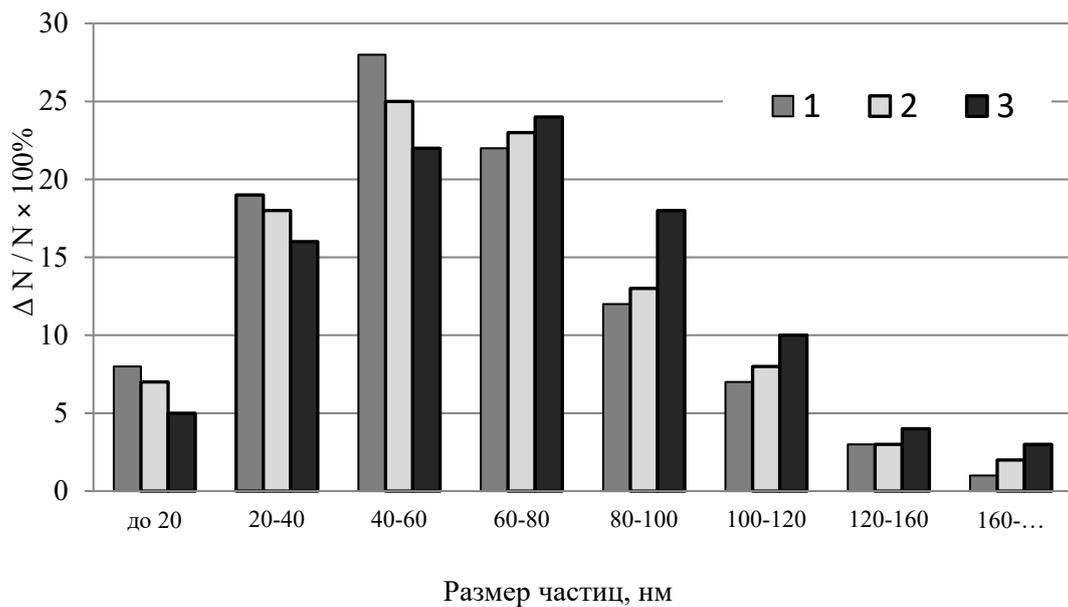


Рисунок 1 – Изображения частиц в полутоновом (а) и трехмерном (б) представлении, полученных импульсной лазерной абляцией молибдена в дистиллированной воде лазерными импульсами с длиной волны, равной 532 нм и плотностью мощности излучения  $Q = 3,6 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>



1 –  $Q = 3,6 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>; 2 –  $Q = 5,8 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>; 3 –  $Q = 8,8 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>;

Рисунок 2 – Гистограмма распределения по размерам частиц, полученных при абляции молибдена в воде лазерными импульсами с длиной волны, равной 532 нм, и различной плотностью мощности излучения Q

**Заключение.** В результате исследования частиц, полученных методом импульсной абляции молибдена в дистиллированной воде,

установлено, что продукты импульсной абляции молибдена в водной среде полидисперсны и имеют размер преимущественно до 100 нм. Показано, что увеличение интенсивности энергетического воздействия на мишень, путем изменения плотности мощности излучения, при проведении лазерной абляции молибдена в водной среде, способствует увеличению наиболее вероятного размера частиц.

### Литература

1. Поул, Ч. Нанотехнологии / Ч. Поул – мл., Ф. Оуэнс. – Москва : «Техносфера», 2006. – 336 с.
2. Наночастицы и нанотехнологии в медицине сегодня и завтра / Л. Ф. Абаева [и др.] // Альманах клинической медицины. – 2010. – № 22. – С.10–16.
3. Линников, О. Д. Сорбция шестивалентного хрома из водного раствора наноразмерным магнетитом / О. Д. Линников, И. В. Родина, В. Г. Шевченко // Вода: химия и экология. – 2011. – № 5. – С. 68–75.
4. Лещик, С. Д. Исследование частиц, генерированных лазерной абляцией твердых тел в жидкости / С. Д. Лещик, К. Ф. Зноско, Ю. К. Калугин // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2014. – № 4. – С. 6–10.
5. Влияние физико-химических свойств жидкости на процессы лазерной абляции и фрагментации наночастиц Au в изолированном объеме / С. В. Казакевич [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 4. – С. 64–69.

**Н. Н. Малык**

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **С. А. Тюрин**, канд. техн. наук

### **ИЗНОСОУСТАЛОСТНОЕ ПОВРЕЖДЕНИЕ В ТЕХНИКЕ И ЕГО ОСОБЕННОСТИ**

Износоусталостные повреждения характерны для так называемых силовых систем. Согласно межгосударственного стандарта ГОСТ 30638-99 [1] силовыми называют такие механические системы, в которых реализуется процесс трения в любых его проявлениях (в частности, при качении, скольжении и проскальзывании) и которые одновременно воспринимают и транзитно передают циклическую по-

вторно-переменную нагрузку. Обычно это наиболее ответственные и высоконагруженные узлы и детали в машинах. В частности, в системе колесо – рельс головка рельса, помимо трения качения, дополнительно подвергается циклическому изгибу, следовательно работоспособность этой системы определяется комплексным износоусталостным повреждением (ИУП) – контактно-механической усталостью [2].

Аналогично в системе коленвал – шатун шейка коленвала, помимо трения скольжения, одновременно подвергается изгибу с кручением, следовательно, ее работоспособность определяется комплексным ИУП – фрикционно-механической усталостью. В различных соединениях типа вал – втулка вал дополнительно подвергается изгибу с вращением. Таким образом, работоспособность этих систем определяется комплексным ИУП – фреттинг-усталостью. В системе трубопровод – поток жидкости труба одновременно нагружена повторно-переменным внутренним давлением. Поэтому ее работоспособность определяется комплексным ИУП – коррозионно-механической (коррозионно-эрозионной) усталостью. В атомных электростанциях трубы первого контура подвержены радиационно-механической усталости.

По имеющимся сведениям, в среднем до 90 % и более всех эксплуатационных отказов машин и оборудования происходит по причине развития ИУП. Так, статистика свидетельствует о том, что из общего количества эксплуатационных отказов на автомобильном транспорте отказы, связанные с ИУП, составляют от 50 до 100 % в зависимости от узла. Преждевременные отказы сельскохозяйственной техники в значительной мере определяются такими явлениями, как механическая усталость, трение и изнашивание, износоусталостные повреждения (до 80...90 % отказов). Отказы мелиоративных машин, связанные с ИУП, составляют 86...98 % общего количества отказов. Аналогичные примеры хорошо известны и в других отраслях машиностроения.

В таблице 1 описаны три основных класса силовых систем: 1) система двух взаимодействующих под нагрузкой твердых тел; 2) деформируемое твердое тело / жидкость; 3) деформируемое твердое тело / частицы.

Таким образом, комплексное износоусталостное повреждение силовой системы формируется двумя специфическими источниками. Первый источник обусловлен контактным взаимодействием (трением) элементов системы, второй – повторно-переменным объемным деформированием (изгибом) одного из элементов.

Таблица 1 – Типичные силовые системы и их комплексные повреждения

Типичная силовая система	Ведущие процессы повреждения в эксплуатационных условиях	Комплексное повреждение
Шейка коленчатого вала – шатунная головка с подшипником скольжения	Усталость, изнашивание	Фрикционно-механическая усталость
Колесо – железнодорожный рельс	Усталость, выкрашивание, изнашивание отслаиванием	Контактно-механическая усталость
Шлицевой вал – муфта	Усталость, фреттинг-коррозия, фреттинг-изнашивание	Фреттинг-усталость
Вал гребного винта – морская вода	Усталость, коррозия	Коррозионно-механическая усталость
Лопатки газовой турбины – высокотемпературный газ	Усталость, газовая эрозия	Эрозионно-механическая усталость
Лопатки центробежного насоса – вода	Усталость, гидроэрозия, кавитационная эрозия	

Природа и характер поверхностных, объемных и износоусталостных повреждений существенно различаются между собой. Так, повреждение цилиндрического образца при механической усталости – излом в результате образования магистральной усталостной трещины (рисунок 1, *а, б*). При трении качения повреждение достигается в результате предельного износа на поверхности трения и образования питтингов (рисунок 1, *в*). При износоусталостных испытаниях (изгиб + трения качения) повреждение образца значительно отличается от двух описанных выше случаев (рисунок 1, *з, д*): излом имеет многолопастной характер, что обусловлено диалектическим взаимодействием двух явлений – трения качения и циклического изгиба. В результате мы имеем картину взаимодействия повреждений от двух источников.

Конечный вывод: повреждения, вызванные только трением или только механической усталостью, в процессе износоусталостных испытаний не складываются, а диалектически взаимодействуют друг с другом.

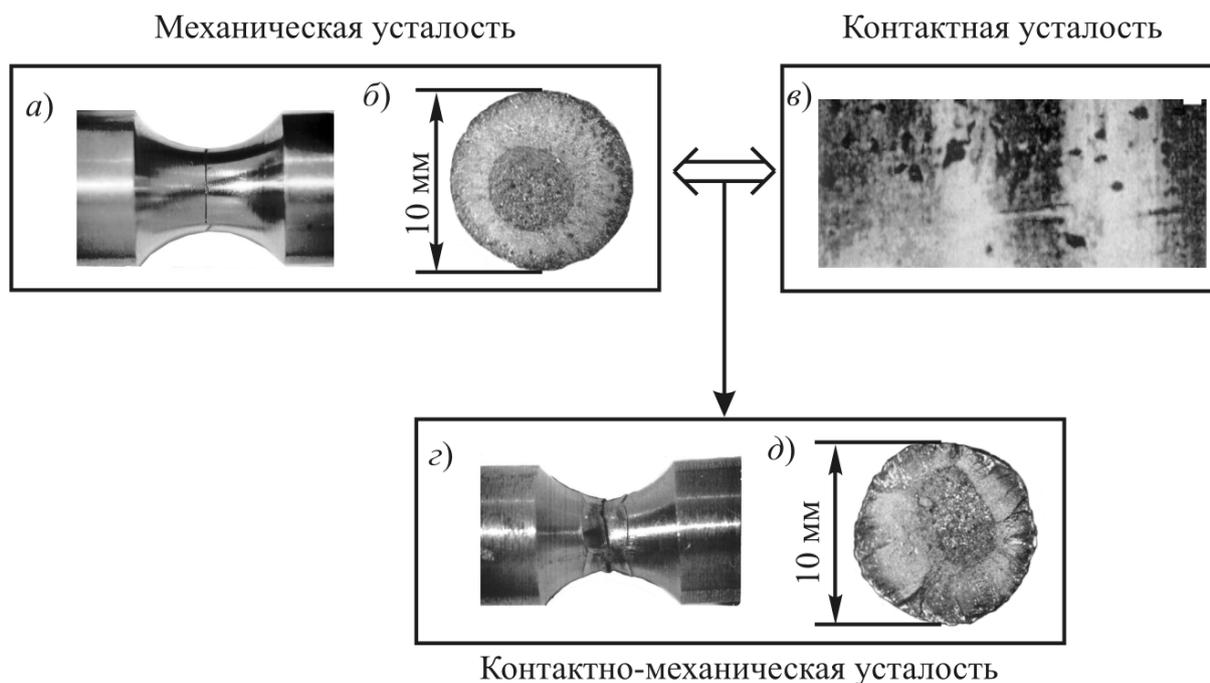


Рисунок 1 – Результат необратимого взаимодействия повреждений образца, обусловленных механической и контактной усталостью

## Литература

1. ГОСТ 30638–99. Трибофатика. Термины и определения. – Мн. : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1999. – 17 с.
2. Сосновский, Л. А. Механика износоусталостного повреждения / Л. А. Сосновский. – Гомель : БелГУТ, 2007. – 434 с.

**Д. В. Нахват, А. А. Аксамит, В. И. Божко**  
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. С. Антонов**, канд. техн. наук, доцент

## **ДИФФУЗИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ С ПОВЫШЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Повышенные требования к качеству изделий из полимерных материалов, обусловленные расширением сферы их практического использования в различных сферах функционирования социальных систем, приводят к необходимости разработки новых методов улучше-

ния свойств полимерных матричных компонентов. В этом направлении особый научный и практический интерес имеет модифицирование полимеров наноразмерными объектами как на стадии синтеза исходных компонентов, так и непосредственно в процессах их переработки. Многими исследованиями установлено, что введение наноразмерных добавок в небольших («допинговых») количествах в полимерные матрицы позволяет значительно повысить параметры технологических и эксплуатационных характеристик изделий на их основе и является перспективным направлением в области создания новой конкурентоспособной продукции [1–4].

В технологиях получения и переработки композиционных материалов на основе полимерных матриц особую перспективу имеют диффузионные, основанные на введении в состав композитов или изделий функциональных компонентов из растворов путем экспозиции при заданных температурно-временных режимах. Фундаментальные исследования в этой области проведены проф. Мачюлисом А. Н. и сотр. [5]. Развитие этого подхода профессором Песецким С. С. и сотр. позволило предложить эффективные составы модифицирующих сред для повышения параметров деформационно-прочностных, триботехнических характеристик и стойкости к воздействию термоокислительных сред изделий на основе полиамидов и композитов на их основе [5, 6].

Разработанные технологические приемы реализации методологического подхода «диффузионной стабилизации», нашли эффективное продолжение в наших исследованиях [7, 8] и позволили разработать составы полимерных нанокomпозиционных материалов для изделий с повышенными параметрами эксплуатационных характеристик.

Для разработки модельных составов нанокomпозитов использовали полимерные матрицы на основе полиамида ПА6. Наноразмерный металлсодержащий модификатор получали термообработкой гранулированных или порошкообразных полуфабрикатов, диффузионно модифицированных в водных растворах формиата меди в течение 1–10 ч.

Экспериментальные данные приведены на рисунке 1.

Как следует из данных, представленных на рисунке 1, диффузионная обработка гранулированного полиамида 6 водным раствором формиата меди  $[\text{Cu}(\text{НСOO})_2]$  в течение 1–10 ч приводит к существенному изменению стойкости стандартных образцов к термоокислительному старению. Параметр исходной прочности образцов из ПА6 снижается от 44,67 МПа до 26,66 МПа после 200 ч термоокисления в

среде воздуха (рисунок 1, кривая 1). При этом модифицированные наноразмерными частицами меди образцы не только не снижают исходный параметр  $\sigma_M$ , но и заметно его увеличивают до значений 61,95–67,22 МПа после термоокисления в течение 100–200 ч (рисунок 1, кривые 2, 3, 4).

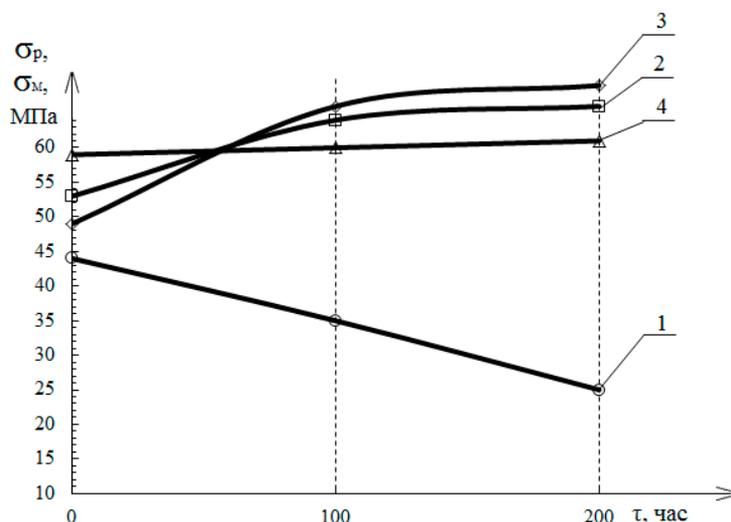


Рисунок 1 – Зависимость прочности при максимальном усилии  $\sigma_M$  в зависимости от времени термообработки при 423 К (150 °С) ПА 6 (1), ПА 6 + ф.м. 1 ч. (3), ПА 6 + ф.м. 5 ч. (2), ПА 6 + ф.м. 10 ч. (4)

Исследования параметров эксплуатационных характеристик разработанных составов нанокomпозиционных материалов на основе промышленных термопластов, полученных с использованием диффузионных технологий, показали перспективность их практического применения для производства изделий с повышенными параметрами эксплуатационных характеристик.

Работа выполнена в рамках задания 5.6 «Исследование процессов структурообразования термопластичных нанокomпозитов для получения плёночных полуфабрикатов с повышенными параметрами характеристик» подпрограммы «Продовольственная безопасность» ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» на 2021-2025 годы.

## Литература

1. Наноматериалы и нанотехнологии для машиностроения: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования /

В. А. Струк [и др.] ; под ред. В. А. Струка, В. А. Гольдаде. – Минск : РИВШ, 2021. – 512 с.

2. Авдейчик, С. В. Фактор наносостояния в материаловедении полимерных нанокомпозитов / С. В. Авдейчик, В. А. Струк, А. С. Антонов. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Acad. Publ., 2017. – 468 с.

3. Елисеев, А. А. Функциональные наноматериалы / А. А. Елисеев, А. В. Лукашин ; под ред. Ю. Д. Третьякова. – М. : Физматлит, 2010. – 456 с.

4. Анализ критериев оценки наноразмерности частиц / В. А. Лиопо [и др.] // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6. Тэхніка. – 2012. – № 4(141). – С. 25–31.

5. Мачюлис, А. Н. Диффузионная стабилизация полимеров / А. Н. Мачюлис, Э. Э. Торнау. – Вильнюс : Минтис, 1974. – 256 с.

6. Гольдаде, В. А. Ингибиторы изнашивания металлополимерных систем / В. А. Гольдаде, В. А. Струк, С. С. Песецкий. – М. : Химия, 1993. – 240 с.

7. Антонов, А. С. Композиционные материалы на основе смесей термопластов для повышения эксплуатационного ресурса элементов технологического оборудования : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.09 / А. С. Антонов. – Минск, 2018. – 200 с.

8. Диффузионные технологии в материаловедении полимерных нанокомпозитов / А. С. Антонов [и др.] // Нефтехимия-2021 : материалы IV Междунар. науч.-техн. форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 22–23 ноября 2021 г. – Минск : БГТУ, 2021. – С. 71–74.

**Е. А. Никифорова**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. Н. Петлицкий**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИК КОНТРОЛЯ ДЕГРАДАЦИИ ТОКА-СТОКА МОП ТРАНЗИСТОРОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГОРЯЧИХ НОСИТЕЛЕЙ**

Для того, чтобы максимально увеличить токи, протекающие в транзисторе современные субмикронные МОП технологии требуют более высокого уровня легирования кремниевой подложки в области формирования канала МОП транзистора, а также ультратонкого

подзатворного диэлектрика. С уменьшением толщины подзатворного диэлектрика и увеличения уровня легирования области канала в задаче обеднения поликремниевого затвора появилась необходимость учитывать те явления, которыми на ранних стадиях производства и проектирования изделий микроэлектроники пренебрегали из-за их малого вклада – изменение электрического потенциала по толщине затвора становится достаточно большим. Уменьшение тока в канале транзистора, приведет к уменьшению емкости МОП структуры (емкости затвора), что, в свою очередь, приведет к обеднению затвора и деградации характеристик МОП транзистора. Из-за образования обедненного слоя вблизи границы раздела поликремний – оксид кремния возникает деградация характеристик, вызванная падением напряжения на поликремниевом затворе [1].

Полная емкость МДП-структуры определяется суммой емкости поверхностных состояний и емкости ОПЗ в области низких частот, когда период измерительного сигнала существенно больше времени жизни неосновных носителей в области пространственного заряда (ОПЗ) и постоянной времени поверхностных состояний. Вольт-фарадная характеристика, определяемая при данном условии, называется равновесной низкочастотной CV кривой. Экспериментально данные кривые получают, используя квазистатический CV метод. Суть данного метода заключается в том, что измеряется ток смещения через МДП-систему при линейной развертке напряжения на затворе, и величина тока смещения в конечном итоге оказывается пропорциональной емкости МДП-структуры.

Измеренные квазистатическим методом QSCV характеристики емкости относительно напряжения CV, важны для определения параметров приборов. Только квазистатические кривые могут дать информацию о поведении МОП окисла в режиме инверсии.

QSCV метод со ступенчатой разверткой рассчитывает емкость из дополнительного заряда  $\Delta Q$ , Кл, необходимого для изменения напряжения конденсатора на величину  $\Delta U$ .

Находится емкость  $C$ , Ф, используя следующее уравнение:

$$C = \frac{\Delta Q_{Cap}}{\Delta U} = \frac{\Delta Q_{Total} - \Delta Q_{Leak}}{\Delta U}, \quad (1)$$

где  $\Delta Q_{Cap}$  – заряд тестовой структуры, Кл;

$\Delta Q_{Total}$  – сумарный заряд, Кл;

$\Delta Q_{Leak}$  – заряд утечек, Кл;

$\Delta U$  – приложенное напряжение к тестовой структуре, В.

По проведенным измерениям квазистатической CV кривой рассчитывается следующие параметры:

- концентрация примеси в подложке  $N_{sub}$ ;
- толщина окисла  $D_{ox}$ , нм;
- напряжение плоских зон  $U_{fb}$ ;
- потенциал Ферми  $\phi_f$ , В;
- пороговое напряжение  $U_{th}$ , В;
- поверхностная плотность зарядов  $Q_{ss}$ ;
- фиксированный заряд  $Q_b$ , Кл/см<sup>2</sup>.

В разработке субмикронных КМОП ИС в качестве затвора МОП транзисторов используется поликристаллический кремний (ПКК), легированный во время формирования исток/стоковых областей. В это же время совмещение толщины поликристаллического затвора и дальнейших низкотемпературных отжигов может повлечь за собой непролегированную (слаболегированную) нижнюю часть слоя затвора, что является причиной изменения пороговых напряжений транзисторов и снижения эффективного тока стока в рабочем режиме. Процесс создания МОП транзисторов предполагает, что над областью кармана/подложки транзистора формируется затвор, имеющий обратный тип проводимости по отношению к карману/подложке.

Путем сравнения величин емкости затвор – канал в режиме обогащения ( $C_{ox}$ ) и инверсии ( $C_{inv}$ ) определяем наличие непролегированного слоя ПКК затвора при изготовлении субмикронных КМОП ИС.

В случае если

$$0,9 \cdot C_{ox} \leq C_{inv} \leq C_{ox}, \quad (2)$$

ПКК считается годным, без наличия непролегированного слоя.

При

$$C_{inv} < 0,9 \cdot C_{ox}, \quad (3)$$

в ПКК присутствует непролегированный слой.

Данный метод предназначен для определения параметров субмикронных МОП структур с поликремниевым затвором и тонким подзатворным диэлектриком из квазистатических вольт-фарадных характеристик субмикронных МОП структур с проектными нормами до 0,18 мкм.

## Литература

1. Cumberbatch, E. Analytical Surface Potential Model with Polysilicon Gate Depletion Effect for NMOS. / E. Cumberbatch, H. Abebe, H. Morris and V. Tyree // Proceedings 2005 Nanotechnology Conference, 2005. – Vol. 3, pp. 57–60.

**Е. Д. Пискунова**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. Л. Самофалов**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### **СВЯЗЬ БИОМЕХАНИКИ АКАДЕМИЧЕСКОЙ ГРЕБЛИ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРЕБНОГО ИНВЕНТАРЯ**

Известно, что отсутствие смазывающих материалов в сочленениях различных поверхностей пагубно влияет на их состояние (продолжительность эксплуатации, качество работы, перегрев). В современных академических лодках они особенно важны, так как этот вид спорта является циклическим и перемещение лодки происходит за счет симбиоза человека и лодки.

Конструкция лодки (рисунок 1) такова, что в ней присутствует множество «суставов», которые достаточно быстро изнашиваются и требуют замены.



Рисунок 1 – Конструкция лодки

Чтобы увеличить срок службы компонентов и всей лодки в целом, используются различного рода смазывающие вещества для уменьшения трения между элементами лодки, в особенности таких как вертикаль (уключина), баночка (сидение, на котором сидит гребец) и др.

Целью данной работы является теоретическое обоснование биомеханики процесса гребли, а также влияние трения на скорость передвижения лодки по воде.

Какова же основная биомеханическая задача гребли и какими способами она решается? Очевидно, что основной целью является максимально быстрое продвижение судна в условиях соревнований и при тренировочном процессе.

Для того, чтобы обеспечить высокую скорость гребной лодки, необходимо знать, как происходит процесс самого гребка (рисунок 2).

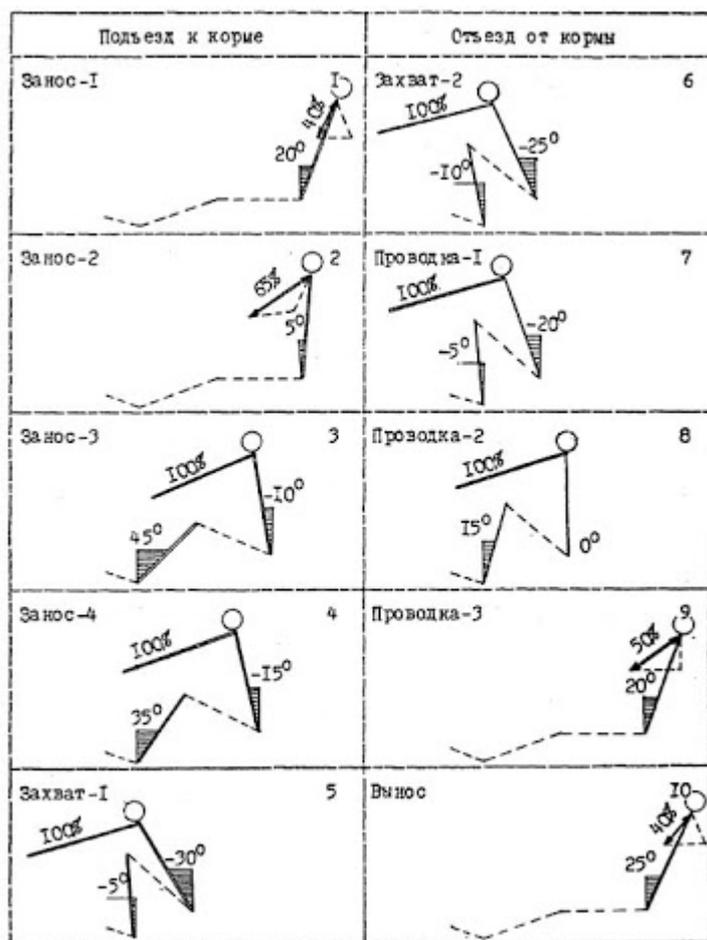


Рисунок 1 – Пространственная модель техники академической гребли

Как видно на схеме, процесс гребка принято условно разделять на 10 фаз: 4 стадии заноса, 2 захвата, 3 проводки и завершающая фаза вынос.

Фаза заноса – это фаза, при которой спортсмен, не прилагая почти никаких усилий подъезжает вперед к корме, для нового гребка (фаза отдыха).

Следующая фаза – захват. Гребец разворачивает весла в воздухе и вставляет их в воду, чтобы начать движение с усилием ногами (фаза подготовки).

Проводка заключается в выполнении основного движения с максимальным усилием из этих фаз. Спортсмен придает лодке ускорение и двигает ее вперед, благодаря точке опоры на воде.

И заключительная фаза – вынос весел. Закончив гребок, спортсмен вновь начинает фазу отдыха, то есть подъезжает вперед для нового гребка, расслабляясь и позволяя лодке как бы «прокатиться» под ним.

**Н. В. Пузан**

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **Н. В. Иноземцева**, канд. техн. наук, доцент

## **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НА ВРЕМЯ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПЛАКИРОВАНИИ ОБРАТНЫМ ВЫДАВЛИВАНИЕМ**

Процесс нанесения на металлическую основу покрытия путем совместной пластической деформации основы и плакирующего материала является достаточно перспективным, вследствие высокой производительности и малой энергоемкости. Проблемы надежности соединения между слоем покрытия и основой достаточно актуальны, так как именно качество этого соединения во многом обеспечивает эксплуатационные характеристики получаемого материала. В результате исследований получены аналитические зависимости для параметров, входящих в условие схватывания [1]:

$$t_d \geq t_a \geq t_p,$$

где  $t_d$  – длительность совместной пластической деформации, с;  $t_a$  – длительность активации поверхности менее деформируемой основы в зоне соединения, с;  $t_p$  – длительность релаксации остаточных напряжений в покрытии, с.

Длительность совместной пластической деформации определяется по зависимости:

$$t_{\partial} = \frac{l_{\partial}}{v_n},$$

где  $l_{\partial}$  – длина очага деформации, м;  $v_n$  – скорость процесса деформирования металла, м/с;

Для выбора определенных параметров процесса необходимо изучить их степень влияния на условие достижения адгезии. В практических целях наиболее приемлемо использовать наиболее влиятельные параметры процесса на условие достижения адгезии. Для зависимостей, входящих в  $t_{\partial}$ , необходимо выбрать численные данные для параметров  $v_n, \varepsilon, T_0$ . Диапазоны параметров выбираются в соответствии с технологическими рекомендациями следующие:  $v_n = [0,2 \dots 12] \text{ мм/с}$ ;  $\varepsilon = 2 \dots 20\%$ ;  $T_0 = [20 \dots 700]^{\circ} \text{C}$ . Степень деформации  $\varepsilon$  определяется по зависимости:  $\varepsilon = \left(\frac{d1}{d0}\right)^2$ , где  $d0 = 40 \text{ мм}$  – наружный диаметр заготовки,  $d1$  – диаметр заготовки после выдавливания. Изменяя величину  $d1 = [5 \dots 38] \text{ мм}$ , степень деформации меняется в пределах  $\varepsilon = [2 \dots 20]\%$ .

Так как величина характерного размера  $R$  для процесса обратного выдавливания пропорциональна величине  $d1$ , то изменение  $d1$  вызовет изменения для  $R$ , т.е.  $R = \frac{d1}{2} \sqrt{2}$ .

Для ступенчатого изменения параметров выбраны следующие величины:  $v1 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$ ;  $v2 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$ ;  $v3 = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$ ;  $v4 = 8,6 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$ ;  $v5 = 12 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$ .

$$\varepsilon1 = 2,0\%; \varepsilon2 = 7,0\%; \varepsilon3 = 12,0\%; \varepsilon4 = 17,0\%; \varepsilon5 = 20,0\%.$$

$$d1 = 5 \text{ мм}; d2 = 13 \text{ мм}; d3 = 21 \text{ мм}; d4 = 29 \text{ мм}; d5 = 38 \text{ мм}.$$

При анализе в качестве постоянных параметров выбраны  $v_n = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$ ;  $\varepsilon = 12\%$ ;  $T_0 = 20^{\circ} \text{C}$ .

Используя формулы для времени деформации и выбранные величины параметров, построены графики (рисунок 1) – (рисунок 4).

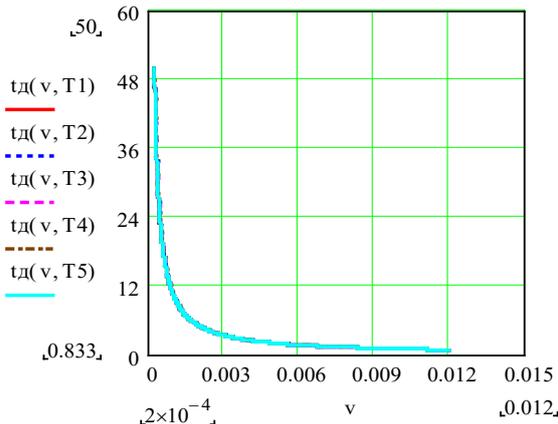


Рисунок 1 – Зависимость времени деформации  $t_{\partial}$  от  $v_n$  и  $T_0$  при  $\varepsilon = const$

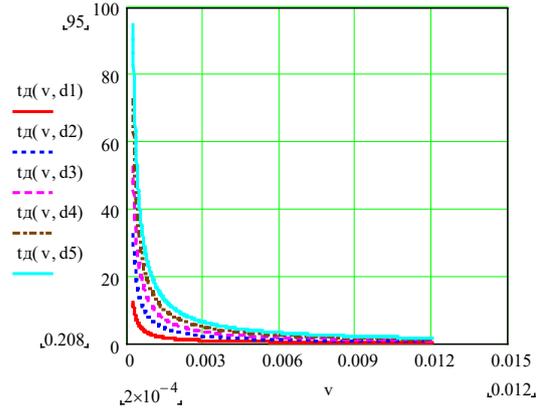


Рисунок 2 – Зависимость времени деформации  $t_{\partial}$  от  $v_n$  и  $\varepsilon$  при  $T_0 = const$

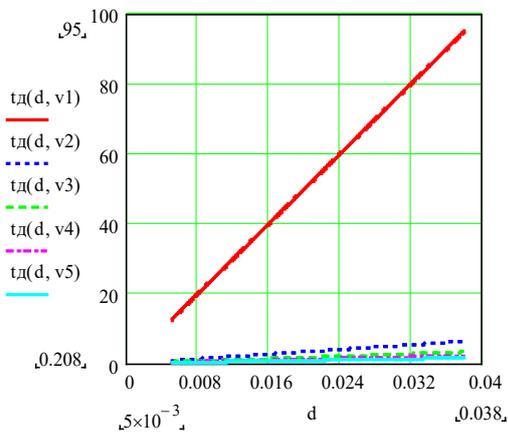


Рисунок 3 – Зависимость времени деформации  $t_{\partial}$  от  $\varepsilon$  и  $v_n$  при  $T_0 = const$

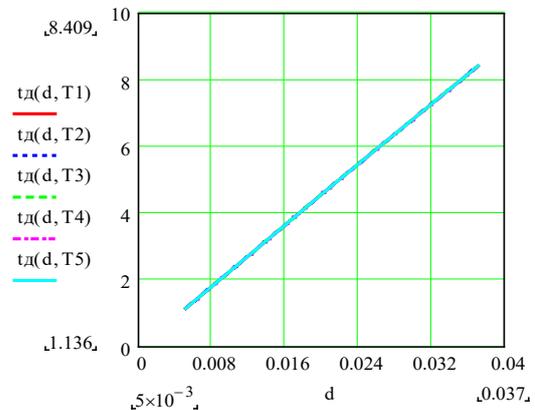


Рисунок 4 – Зависимость времени деформации  $t_{\partial}$  от  $\varepsilon$  и  $T_0$  при  $v_n = const$

Анализ графиков показывает, что наибольшее влияние на время деформации оказывает скорость деформации  $v_n$ . По степени воздействия за ним следует степень деформации  $\varepsilon$ . С ростом  $v_n$  значение  $t_{\partial}$  уменьшается, а с ростом  $\varepsilon$  значение  $t_{\partial}$  увеличивается. Изменением величин скорости и степени деформации можно добиться получения условия схватывания.

## Литература

1. Селивончик, Н. В. Разработка критерия получения соединения покрытия с основой при плакировании обратным выдавливанием /

Н. В. Селивончик, Ю. Л. Бобарикин // Материалы, технологии, инструменты. – 2002. – Т.7, № 3. – С. 33–37.

2. Кочергин, К. А. Сварка давлением / К. А. Кочергин. – Л. : Машиностроение, 1972. – 216 с.

3. Каракозов, Э. С. Диффузионная сварка титана / Э. С. Каракозов, Л. М. Орлова, В. В. Пешков. – М. : Металлургия, 1977. – 272с.

**А. П. Сазанков**

(ИММС НАН Беларуси, Гомель)

Науч. рук. **С. В. Шилько**, канд. техн. наук, доцент

## **ВЛИЯНИЕ ВЛАГИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОПЛАСТИКОВ НА ПРИМЕРЕ ДВУХ- И ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ ЛАМИНАТОВ**

**Введение.** Полимерные композиты, включая стеклопластики, в большей или меньшей степени гигроскопичны. В результате диффузии воды, инициированной гидрофильными компонентами, на поверхности раздела «наполнитель – связующее» возникает высокое осмотическое давление, что приводит к образованию трещин вблизи волокон и снижению прочности.

Разупрочнение стеклопластиков во влажном состоянии связано также с пористостью композита, обусловленной неравномерным распределением армирующего материала в связующем, попаданием воздуха при формовании ламината, низкой адгезией компонентов и пластификацией материала [1, 2].

**Целью исследования** являлась оценка степени разупрочнения стеклопластиков под действием влаги.

**Методика эксперимента.** В работе исследовались прочностные характеристики двухкомпонентных ламинатов (полиэфирное связующее + армирующий наполнитель в виде стекломата), представленные материалами различного состава №№ 7–14, и трехкомпонентных ламинатов (микросферотекстолитов), в состав которых вводились стеклянные микросферы [3, 4] для уменьшения плотности (материалы №№ 1а–6, 15). Испытуемые образцы вырезались из листовых заготовок ламинатов, изготовленных на технологической базе ОАО «Полоцк-Стекловолокно».

Определение влагопоглощения производилось взвешиванием образцов до и после нахождения в водной среде при комнатной температуре. Механические характеристики (предел прочности и ударная вязкость) определялись путем статических механических испытаний образцов в виде пластин размерами 1,6×49×210 мм (рисунок 1а, 2) в условиях трёхточечного изгиба по ГОСТ Р 56810-2015 на машине Инстрон 5567 (рисунок 2а), а также методом Шарпи на образцах в виде пластин размерами 2,6×24×147 мм (рисунок 1а, 1) с помощью копра VWL 1972 (рисунок 2б).

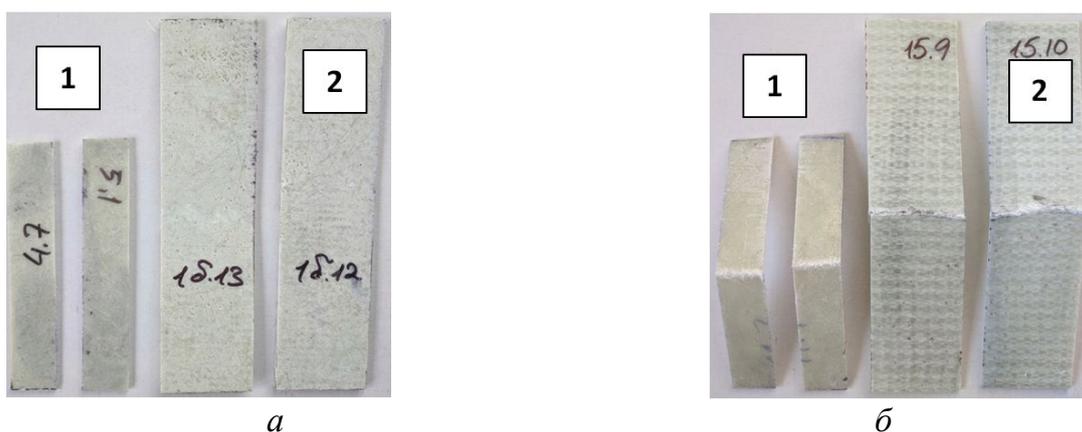


Рисунок 1 – Образцы стеклопластиков до (а) и после (б) испытаний



Рисунок 2 – Приспособление для статических испытания на трёхточечный изгиб (а), копер для ударных испытаний VWL 1972 (б)

**Результаты испытаний.** Полученные данные о механических свойствах исследуемых материалов (предел прочности при изгибе, ударная вязкость) представлены на рисунке 3.

В таблицах 1, 2 представлены значения физико-механических характеристик стеклопластиков до и после воздействия влаги.

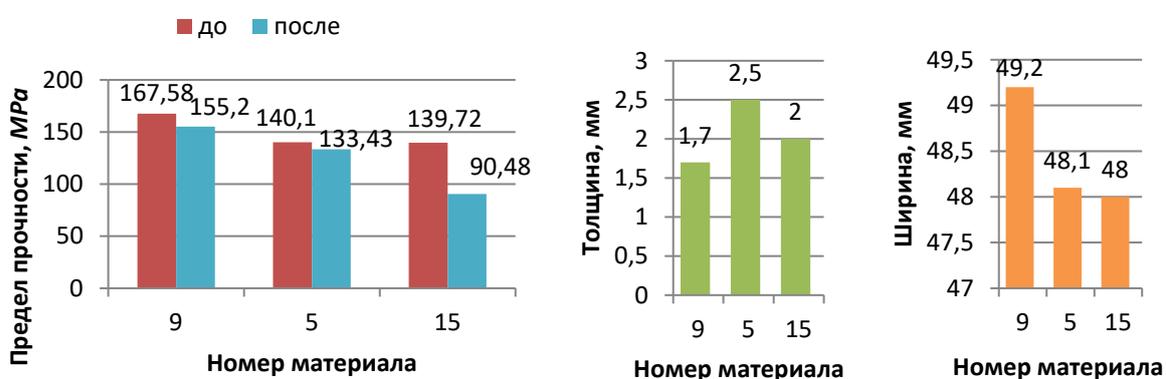


Рисунок 3 – Значения предела прочности стеклопластиков до и после воздействия влаги

Таблица 1 – Влагопоглощение и предел изгибной прочности испытанных материалов

№	Влагопоглощение, % масс.	Предел прочности при изгибе, МПа		
		до выдержки в водной среде	после выдержки в водной среде	$\Delta$ , %
9	3,4	167,6	155,2	7,4
5	4,8	140,1	133,4	4,8
15	7,9	139,7	90,5	35,2

Таблица 2 – Влагопоглощение и ударная вязкость испытанных материалов

№	Влагопоглощение, % масс.	Ударная вязкость, Дж/мм <sup>2</sup>		
		до выдержки в водной среде	после выдержки в водной среде	$\Delta$ , %
1а	11,8	52,8	38,3	27,5
1б	33,6	48,5	37,1	23,5
2	6,6	62,2	58,0	6,8
3	13,2	66,0	62,4	5,5
4	6,2	66,6	61,1	8,3
5	15,2	62,6	59,8	4,5
7	4,2	73,7	61,9	16,0
8	1,0	81,6	67,2	17,6
10	1,6	81,5	71,1	12,8
11	5,8	71,6	55,9	21,9
12	7,9	89,5	82,6	7,7
13	5,2	81,1	63,4	21,8
14	3,0	68,9	44,4	35,6
15	5,2	67,6	50,2	25,7

Длительность нахождения в воде образцов материалов для испытания на трехточечный изгиб составила 3336 часов, а для испытаний на ударную вязкость – 2976 часов соответственно.

Проведенные исследования показали, что предел прочности при изгибе двухкомпонентного стеклопластика (материал № 9) без добавления микросфер имеет наибольшее значение в сравнении с остальными материалами, испытанными до и после водопоглощения. Из-за высокой пористости материала микросферотекстолиты № 5 и № 15 значительно уступают по прочности стеклопластикам без добавления микросфер. В результате диффузии воды имеет место разупрочнение стеклопластиков. Так, для материала № 15 потеря прочности на изгиб составила 35,2 %, а для материала № 5 – 4,8% соответственно. Значительное ухудшение прочностных свойств материала № 15, по-видимому, вызвано повышенным содержанием стекломата в сравнении с материалом № 5 при практически равной массе жидкой смолы с микросферами для обоих материалов.

Водопоглощение приводит к снижению показателя ударной вязкости, в особенности, материалов № 1а, № 1б и № 15, что также обусловлено различным массовым соотношением полиэфирной смолы, микросфер и стекломата.

**Заключение.** Описаны методики исследования механических свойств стеклопластика до и после влагопоглощения в водной среде. Дана количественная оценка степени деградации прочностных свойств на основании полученных значений механических характеристик (предел прочности при изгибе, ударная вязкость).

**Благодарности:** Работа выполнена при поддержке БРФФИ по проекту T21ЭТ-016 «Структурная оптимизация гибридных волоконно-армированных композиционных материалов для безопасного и надёжного электротранспорта».

## Литература

1. Мешалкин, А. В. Исследование влияния водопоглощения на механические характеристики стеклопластика, используемого для изготовления корпуса лодки «север 420» / А. В. Мешалкин, Е. А. Головина // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности. – 2021. – С. 165–169.

2. Влияние воды на свойства стеклопластиков : [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.catalog.rosplast.su/dokumentatsiya/aktualnye->

stati/2-uncategorised/49-vliyanievody-na-svoystva-stekloplastikov. – Дата доступа: 12.03.2022.

3. Микросферотекстолиты, перспективы применения / И. И. Плетинь [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 4–2. – С. 507–508.

4. Awai, H. Mechanical properties of hollow glass microspheres filled jute woven comingled composites / H. Awais [et al.] // Key Engineering Materials. – Trans Tech Publications Ltd, 2020. – Vol. 858. – С. 41–46.

**Я. А. Самосюк**

(БрГТУ, Брест)

Науч. рук. **О. Ф. Савчук**, ст. преподаватель

## **ФОТОПРОВОДИМОСТЬ КВАНТОВО-РАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР CdSe**

В последнее время в области физики твердого тела возрос интерес к исследованию квантово-размерных структур, что обусловлено значительным изменением свойств полупроводников при уменьшении размеров их кристаллитов. Эти эффекты наблюдаются, когда средний размер кристаллических зерен не превышает 100 нм, и усиливаются при размере зерен менее 10 нм [1].

В настоящее время уменьшение размера зерен рассматривается как эффективный метод изменения свойств твердого тела. Проводятся исследования о влиянии наносостояния на магнитные свойства ферромагнетиков, о существенном изменении теплоемкости и твердости металлов, об изменении оптических и люминесцентных характеристик полупроводников, среди которых далеко не последнее место занимает фотопроводимость [2].

Основной целью работы являлось исследование фотопроводимости квантово-размерных структур CdSe, сформированных методом термолиза, при температуре  $t = 20$  °С.

Исследуемые образцы представляют собой органическую пленку, содержащую нанокристаллы CdSe с размером  $\approx 2$  нм. Ее наносили на предметное стекло между напыленными металлизированными параллельными контактами (всего 40 штук). Контакты длиной 11,1 мм и шириной 0,08 мм каждый, входили друг в друга на 10,1 мм. Расстояние между контактами составило 0,04 мм.

Нанокристаллы селенида кадмия CdSe синтезированы методом термолиза металлоорганических прекурсоров кадмия и селена в среде высококоординирующего растворителя ТОРО/ТОР (триоктилфосфин-оксид/триоктилфосфин) [3]. В качестве прекурсоров выступали диметилкадмий и триоктилфосфин селенид. Данная методика позволяет синтезировать монодисперсные нанокристаллы селенида кадмия контролируемых размеров от 2 до 8 нм с высоким квантовым выходом фотолюминесценции.

Для исследования фотопроводимости использовалась установка, блок-схема которой изображена на рисунке 1.

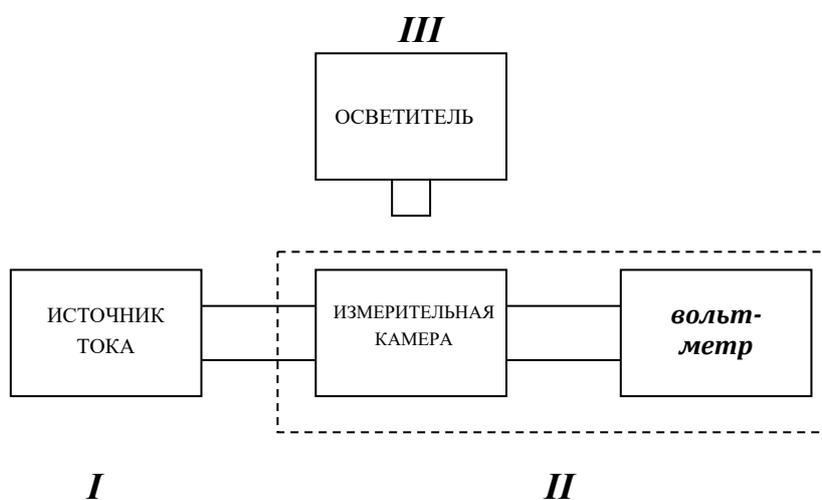


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки

Экспериментальная установка состоит из трех основных блоков:

I – источник питания постоянного тока Б5–49;

II – вольтметр универсальный электрометрический В7–45, состоящий из измерительного блока, выносного интегрирующего блока, измерительной камеры и комплекта принадлежностей;

III – осветитель от монохроматора универсального малогабаритного МУМ с галогенной лампой.

Для исследования темновой проводимости полупроводника, т.е. без освещения, на источнике питания устанавливалось напряжение 0 В. Затем, измеряли значения тока при увеличении напряжения с шагом 1 В до 99 В и, достигнув предельного значения, уменьшали его с тем же шагом, продолжая измерять ток.

После этого исследовали проводимость CdSe структур при освещении. Включив осветитель, повторили все действия, выполняемые при измерении темновой проводимости.

Фотопроводимость исследуемых образцов представлена на рисунке 2.

На рисунке 2 изображены графики темновой проводимости и фотопроводимости, а также истинная фотопроводимость, которая вычислялась как их разность.

Из графиков видно, что при освещении структур ВАХ подобны.

Полученные вольт-амперные характеристики являются нелинейными и имеют две ветви, одна из которых соответствует увеличению напряжения, а вторая – уменьшению напряжения.

Кривые нарастания и спада фототока симметричны, но одному и тому же напряжению соответствуют разные токи (кривая спада идет выше кривой нарастания). При увеличении напряжения до 100 В, сила тока возрастает для фотопроводимости до  $7,4 \cdot 10^{-12}$  А, а для темновой проводимости до  $2,2 \cdot 10^{-12}$  А.

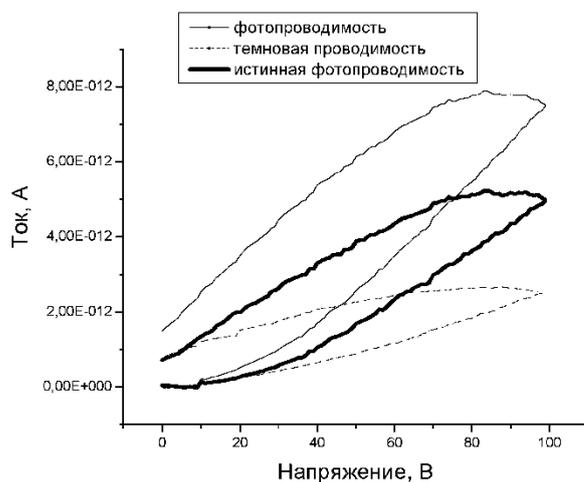


Рисунок 2 – Вольт-амперные характеристики CdSe при комнатной температуре

Представленные результаты показывают наличие темновой и фотопроводимости в исследуемых образцах, что обусловлено их нанокристаллическим состоянием и зависимость этой проводимости (темновой и фото) от предыстории, т.е. от того, находились ли перед этим образцы под напряжением, или нет.

## Литература

1. Гапоненко, С. В. Оптические процессы в полупроводниковых нанокристаллах (квантовых точках) / С. В. Гапоненко // Физика и техника полупроводников. – 1996. – Т. 30, № 4. – С. 577–619.

2. Гусев, А. И. Эффекты нанокристаллического состояния в компактных металлах и соединениях / А. И. Гусев // УФН. – 1998. – Т. 168, № 1. – С. 55–83.

3. Evolution from individual to collective electron states in a dense quantum dot ensemble / M. V. Artemyev [et al.] // Phys. Rev. – 1999. – V. 60, № 3. – P. 1504–1506.

4. Коваленко, О. Е. Фотоэлектрические свойства квантово-размерных структур CdSe/ПЭТФ / О. Е. Коваленко, В. Г. Гузовский, А. В. Хомченко // Вестник Могилевского государственного технического университета. – 2006. – № 2 (11). – С. 73–78.

**Е. Д. Сафроненко**

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ В ОТКРЫТОМ ТИГЛЕ В МОТОРНЫХ МАСЛАХ МАРКИ ЛУКОЙЛ**

Известно [[1–4](#)], что у моторного масла с высокими эксплуатационными свойствами значение температуры вспышки в открытом тигле должно быть как можно выше. У современных синтетических и полусинтетических моторных масел различных зарубежных и отечественных производителей данный эксплуатационный показатель моторного масла превышает значение 175 °С, и, как правило, находится в пределах от 190 °С до 230 °С и выше [[1–4](#)].

Цель настоящей работы – исследование изменения температуры вспышки в открытом тигле в моторных маслах марок Лукойл Люкс 5W-40, Лукойл Genesis Armortech 5W-40 и Лукойл Genesis Armortech Jr 5W-30 в зависимости от величины пробега легкового транспортного средства, с бензиновым двигателем. Методика проведения исследований описана в работах [[2–4](#)]. Температуру вспышки в открытом тигле для выбранных для исследования моторных масел определяли по ГОСТ 4333–87 «Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле» [[5](#)]. Результаты исследований изменения температуры вспышки в открытом тигле исследуемых моторных масел представлены в таблице 1.

Рекомендуемым сроком замены данных масел является пробег транспортного средства равный 15 тыс. км, или не реже чем через

1 год эксплуатации автомобиля. В таблице 1 представлены результаты исследования по определению изменения температуры вспышки в открытом тигле в моторных маслах производства «Лукойл» при эксплуатации легкового транспортного средства с бензиновым двигателем в зависимости от величины пробега.

Можно видеть (таблица 1), что температура вспышки в открытом тигле в исследуемых образцах моторных масел с увеличением пробега снижается. Так, при использовании моторного масла Лукойл Люкс 5W-40 при пробеге автомобилем до 20 тыс. км температура вспышки в открытом тигле снижается до 228,4 °С, при использовании моторных масел марок Лукойл Genesis Armortech 5W-40 и Лукойл Genesis Armortech Jp 5W-30 при аналогичном значении пробега температура вспышки в открытом тигле снижается до 230,1 °С и 222,8 °С соответственно. Наиболее интенсивное снижение значения температуры вспышки в открытом тигле у всех масел наблюдается после 10 тыс. км пробега. Показано (таблица 1), что после пробега транспортным средством 15 тыс. км температура вспышки в открытом тигле в исследуемом образце моторного масла Лукойл Люкс 5W-40 уменьшается до 230,7 °С (на 8,3 °С) в сравнении с исходным значением. При использовании моторных масел марок Лукойл Genesis Armortech 5W-40 до 230,1 °С (на 5,6 °С) и Лукойл Genesis Armortech Jp 5W-30 до 222,8 °С (на 3,3 °С) соответственно.

Можно видеть (таблица 1), что после пробега транспортным средством 20 тыс. км температура вспышки в открытом тигле в исследуемом образце моторного масла Лукойл Люкс 5W-40 снизилась на 10,6 °С. При использовании моторных масел марок Лукойл Genesis Armortech 5W-40 на 6,9 °С и Лукойл Genesis Armortech Jp 5W-30 на 5,2 °С. В результате проведенных исследований, экспериментально установлено, что после 20 тыс. км пробега значение температуры вспышки в открытом тигле во всех исследуемых моторных маслах производства «Лукойл» снизилось на величину, находящуюся в пределах от 2,3 % до 4,4 %. Данное изменение температуры вспышки в открытом тигле свидетельствует о том, что данные масла обладают высокими эксплуатационными свойствами по исследуемому показателю. Согласно данным работ [1–4] моторное масло следует заменить при изменении исследуемого показателя более чем на 20 %.

Таблица 1 – Результаты изменения температуры вспышки в открытом тигле в синтетических моторных маслах производства «Лукойл»

Пробег транспортного средства, тыс. км	Температура вспышки в открытом тигле в исследуемых моторных маслах, °С		
	Лукойл Люкс 5W-40	Лукойл Genesis Armortech 5W-40	Лукойл Genesis Armortech Jp 5W-30
Исходное значение	239,0	237,0	228,0
5	237,9	235,8	227,5
10	234,2	233,9	225,6
15	230,7	231,4	224,7
20	228,4	230,1	222,8

По результатам проведенного исследования можно утверждать, что минимальное снижение температуры вспышки в открытом тигле после пробега транспортным средством 20 тыс. км наблюдается при использовании синтетического моторного масла марки Лукойл Genesis Armortech Jp 5W-30. Температура вспышки в открытом тигле у данного масла за весь пробег, а именно равный 20 тыс. км в сравнении с другими марками выше на 2,1 % и 0,3 % соответственно.

Установлено, что моторные масла производства «Лукойл» не уступают по своим эксплуатационным свойствам зарубежным аналогам. Данный вывод основан на экспериментальном исследовании эксплуатационных показателей зарубежных синтетических моторных масел марок [2–4]. Таким образом, можно утверждать, что замену всех исследуемых моторных масел производства «Лукойл», по значению температуры вспышки в открытом тигле, в целях ресурсосбережения двигателя и его частей целесообразно проводить после 20 тыс. км пробега.

## Литература

1. Сырбаков, А. П. Топливо и смазочные материалы: учебн. пособие / А. П. Сырбаков, М. А. Корчуганова; Томский политехн. ун-т. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2015. – 159 с.

2. Заболотный, О. Д. Исследование температуры вспышки полусинтетических моторных масел марки SAE 10W40 / О. Д. Заболотный, Ю. Ю. Тонко // Актуальные вопросы физики и техники: X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апр. 2021 г.) : материалы : в 2 ч. Ч. 1. / ГГУ им.

Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 81–83.

3. Сергей, А. И. Исследование температуры вспышки в открытом тигле моторных масел для дизельных двигателей / А. И. Сергей, Я. Я. Маркевич // Актуальные вопросы физики и техники: VIII Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 25 апр. 2019 г.) : материалы : в 2 ч. Ч. 1. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : Д. Л. Коваленко [и др.]. – Гомель, 2019. – С. 56–59.

4. Корольков, А. С. Анализ методов исследования свойств моторных масел легковых автомобилей на примере моторного масла Shell SAE 5W40 / А. С. Корольков, Н. Н. Алифировец // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения : сб. материалов V Междунар. науч. конф. молодых ученых (Гродно, 19 ноября 2021 г.) / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол. : А. С. Воронцов (отв. ред.) [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2021. – С. 97–108.

5. Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле: ГОСТ 4333–2014. – Взамен ГОСТ 4333–87; введ. Респ. Беларусь 01.05.17. – Минск: Госстандарт, 2017. – 15 с.

**К. А. Саховский**

(БелГУТ, Гомель)

Науч. рук. **А. Н. Попов**, канд. техн. наук, доцент;

**Д. Г. Пилипцов**, канд. техн. наук, доцент

## **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСА РАЗРЯДА НА СКОРОСТЬ ОСАЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЙ**

Алмазоподобные покрытия (АПП) находят применения в промышленности благодаря уникальному набору таких свойств, как высокая твердость и теплопроводность, оптическая прозрачность [1]. Структура покрытий определяется преимущественно технологическими режимами осаждения, плотностью ионного тока, характером ионизации и энергетическим распределением частиц в плазменном потоке. Как показали исследования [2], при осаждении АПП с использованием импульсного катодно-дугового разряда, изменяя напряжение разряда, его частоту можно управлять их структурой и свойствами, при этом актуальным является вопрос влияния частоты следования импульсов и напряжения разряда на кинетику осаждения. Данные измерения представляют также практический интерес, по-

сколькo скорость осаждения является одним из важнейших параметров определяющих производительность вакуумных технологических установок для осаждения покрытий.

Цель данной работы – изучение влияния энергетических параметров импульсного катодно-дугового испарения на скорость осаждения АПП.

Формирование АПП осуществлялось на установке УВНИПА-1-001 в вакууме из плазмы импульсного катодно-дугового разряда. Покрытие осаждалось при частоте следования разрядных импульсов от 1 до 20 Гц и напряжении разряда – от 250 до 450 В. В качестве подложек использовали полированную пластину монокристалла кремния (111). Для увеличения адгезии проводили очистку подложки ионами аргона в течение 15 минут. Энергия ионов  $Ar^+$  и плотность ионного тока были равны 4 кэВ и  $\sim 25 \text{ A/m}^2$ , соответственно.

Для определения влияния параметров генерации импульсной углеродной плазмы на толщину покрытия использовали профилометр-профилограф Суртроник 25 (Taylor Hobson), который предназначен для измерения толщины покрытий и параметров поверхности на микроуровне. Пределы измерения высоты ступеньки составляют 0,01–300 мкм. Скорость осаждения определяли в нм/мин (рисунок 1). Количество импульсов разряда, в течении которых формировали покрытие составляло 3000 импульсов. Полученные результаты обрабатывались, сравнивались и, было сделано предположение о особенностях влияния энергетических параметров на скорость роста АПП.

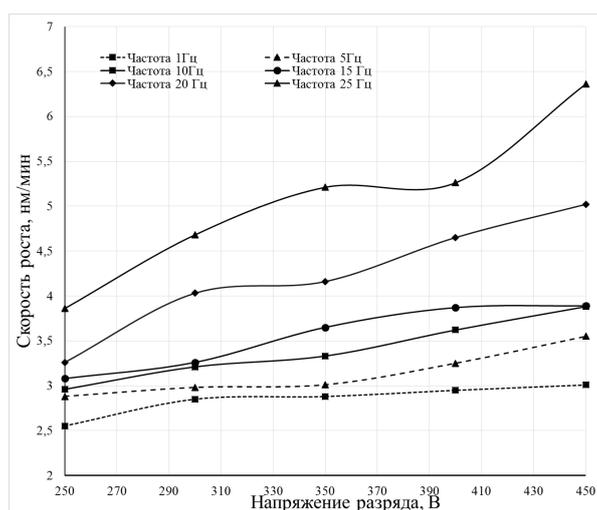


Рисунок 1 – Зависимость скорости осаждения АПП от напряжения импульсного разряда, полученные при различной частоте следования импульсов

Анализ графика (рисунок 1) показал, что скорость роста покрытия зависит от напряжения разряда, которое определяет количество испа-

рѐнного материала графитового катода. Стоит отметить, что напряжение разряда также определяет энергию ионов углерода, поступающих на подложку, что приводит к формированию углеродной структуры с различным отношением атомов углерода в состояниях с  $sp^2$  и  $sp^3$  гибридизации связей. Для АПП, получаемых из импульсных потоков углеродной плазмы скорость роста также зависит и от частоты следования импульсов разряда.

Хотелось бы отметить характер поведения кривых скорости осаждения покрытий. На наш взгляд, данная закономерность определяется протеканием конкурирующих процессов осаждения АПП и самораспыления (травления) под действием углеродной плазмы импульсного разряда. Поступающий на подложку с растущим покрытием, атом углерода входит в её состав, но каскад соударений с поверхностью растущего покрытия ведѐт к выталкиванию одного (или более) поверхностных атомов. Понятно, что самораспыление снижает скорость роста покрытия. Полученные результаты также свидетельствуют о значительной роли осаждаемых ионов в общем балансе потока распыленных атомов. Они, кроме непосредственного участия в процессе распыления атомов, в результате столкновительных процессов травят формируемое АПП, осаждающееся на поверхности подложки.

В качестве перспективных направлений в технологии осаждения покрытий с использованием импульсно-дуговых разрядов является повышение скорости нанесения покрытий, а также улучшение параметров получаемых покрытий. В некоторых случаях, необходимо регулировать такие параметры ионного потока как: энергия ионов, угол падения на подложку, плотность потока. Возможность управления данными параметрами важна в задачах, требующих одновременного формирования сложного по составу покрытия. При этом необходима высокая стабильность и повторяемость результатов, а также возможность переноса лабораторных исследований на промышленные установки больших размеров.

## Литература

1. Musil, J. Hard and superhard nanocomposite coatings / J. Musil // *Surface and Coatings Technology*. – 2000. – Vol. 125. – P. 322–330.
2. Композиционные углеродные покрытия, осажденные из импульсной катодной плазмы / Д. Г. Пилипцов [и др.]. – 2020. – М. : Радиотехника. – 283 с.

**П. В. Сомов**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **И. В. Семченко**, д-р физ.-мат. наук,  
чл.-кор. НАН Беларуси

## **МЕТАМАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ДВОЙНЫХ СПИРАЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ 3D-ПЕЧАТИ**

Основной задачей создания метаматериалов на основе двойных спиралей является возможность достижения уникальных оптических и электромагнитных свойств полученных структур. Особый интерес к исследуемым структурам обусловлен их сильными киральными свойствами, а также резонансом излучения, достигаемым путём варьирования геометрических параметров спирали для различных длин волн.

Так как метаматериалы производятся с использованием 3D-печати, то необходимым шагом является создание трёхмерной модели исследуемой структуры [1]. Не каждая 3D модель подходит для 3D-печати, поэтому необходимо соблюдать следующие правила при создании модели:

– Геометрия модели должна быть замкнута, иначе 3D-принтер не сможет напечатать структуру правильно.

– У создаваемой структуры не должны присутствовать нависающие элементы, в противном случае без должной опоры (перемычки, рёбра жёсткости) структура разрушится.

– Полигоны не должны пересекаться/накладываться друг на друга, в противном случае возможен разрыв структуры.

– Модель должна располагаться на подложке для придания конструкции устойчивости.

– Печать модели должна происходить последовательно, иначе возможно разрушение материала образца.

Для автоматического соблюдения всех нюансов, указанных выше, существуют программы-слайсеры, которые позволяют ускорить и оптимизировать процесс подготовки к печати и осуществить управление работой 3D-принтера.

Пример модели метаматериала, которая пригодна для применения технологий 3D-печати, представлен ниже:



Рисунок 1 – модель элемента метаматериала в виде двойной спирали, пригодная для 3D-печати

Предварительные расчёты показывают, что исследуемый резонанс проявляется более выражено, если спираль состоит из полуцелого числа витков. В этом случае на полной длине спирали укладывается нечётное число полуволн, что позволяет получить более сильную отражённую волну.

Данная модель представляет из себя структуру, состоящую из  $N = 2,5$  витков, радиус витка спирали  $R = 4,79$  мм, шаг спирали  $h = 16,59$  мм, радиус поперечного сечения спиральной нити  $r = 1$  мм.

Варьируя параметры спирали, можно достигнуть резонанса падающего излучения при выполнении условия  $\lambda = P$ , где  $\lambda$  – длина волны падающего излучения,  $P$  – длина витка спирали [2].

От радиуса поперечного сечения нити зависит ширина резонансного диапазона.

Выбор рабочего диапазона длин волн ограничен техническими возможностями 3D-принтера. Спираль с радиусом витка менее 0,8 мм напечатать не удаётся, радиус поперечного сечения нити также ограничен минимальным возможным значением в 0,2 мм. Поэтому существенным недостатком применения 3D-печати является невозможность создания структур, пригодных для получения резонанса выше терагерцового диапазона ввиду ограниченности разрешающей способности самого принтера [3].

Для оптимизации процесса создания метаматериалов удобно печатать сразу массив, состоящий из двойных спиралей, так как для дальнейших исследований потребуются различные конфигурации метаматериалов, а массивы спиралей, в свою очередь, легко совмещаются друг с другом с помощью подложек.

В качестве примера такого массива ниже будет представлена структура, состоящая из подложки и множества двойных спиралей с разными геометрическими параметрами.

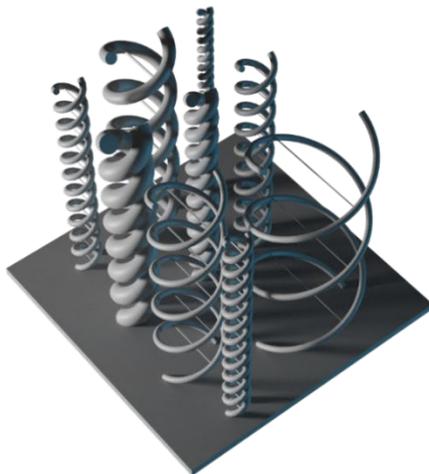


Рисунок 2 – модель массива спиралей с разными геометрическими параметрами

В ходе печати возможны следующие проблемы [4]:

– Повреждение геометрии структуры. Решением этой проблемы является настройка в программе-слайсере траектории движения сопла принтера.

– Неоднородность (пористость) структуры. После печати структуру необходимо погрузить в специальные ванны с приготовленным раствором для удаления шероховатостей (состав раствора варьируется в зависимости от материала, используемого для печати).

В данном исследовании в качестве материала печати используются пластик и фотополимер.

Напечатанные образцы получились достаточно шероховатыми, поэтому следующим шагом является избавление структуры полученных метаматериалов от неоднородности. Сделать это возможно различными способами: химическим травлением, осаждением металла, гальваническим травлением, погружением структуры в раствор. Было принято решение применить погружение структуры сначала в раствор меди (меднение структуры) для получения однородной структуры, а затем в раствор азотнокислого серебра (серебрение структуры) для получения высоких проводящих свойств метаматериала.

## Литература

1. Сомов, П. В. Киральные метаматериалы на основе волнистых поверхностей [Электронный ресурс]: X Респ. науч. конф. студентов, магистрантов, аспирантов (Гомель, 22 апреля 2021 года) : сборник материалов : в 2 ч. Ч. 1. / М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2021. – С. 194 – 196.
2. Семченко, И. В. Оптимальная форма спирали: равенство диэлектрической, магнитной и киральной восприимчивостей / И. В. Семченко, С. А. Хахомов, А. Л. Самофалов. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. – 36 с.
3. Large-Area 3D-Printed Chiral Metasurface Composed of Metal Helices [Electronic resource] / S. V. Golod, V. A. Seyfi, A. F. Buldygin, A. E. Gayduk, V. Ya. Prinz // Wiley Online Library, 2018 – URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adom.201800424>. – Date of access: 22.03.2022.
4. Transformation of the polarization of electromagnetic waves by helical radiators [Electronic resource] / I. V. Semchenko, S. A. Khakhomov, A. L. Samofalov // SpringerLink, 2007. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1134/S1064226907080037>. – Date of access: 22.03.2022.
5. Manufacturing chiral electromagnetic metamaterials by directional rolling of strained heterofilms [Electronic resource] / E. V. Naumova, V. Ya. Prinz, S. V. Golod, V. A. Seleznev, R. A. Soots, V. V. Kubarev // ResearchGate, 2009 – URL: <https://www.researchgate.net/publication/230951758>. – Date of access: 22.03.2022.

**С. Т. Тарасевич, М. С. Лещик**

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. С. Д. Лещик, канд. техн. наук, доцент

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДА МЕТАЛЛА ПО ТОКУ ИЗ ЭЛЕКТРОЛИТОВ С ДОБАВКОЙ НАНОЧАСТИЦ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ПЛАЗМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА**

**Введение.** При электроосаждении покрытий на детали машин-важны не только технологические режимы процесса, но и характеристики самих электролитов. Например, для электролитов хромирова-

ния такой параметр как выход металла по току далек от 100%, что делает процесс хромирования весьма энергозатратным. Поэтому, любые способы для повышения эффективности наращивания металла на катоде, например, за счет введения ультрадисперсных частиц в состав электролита, весьма актуальны. В работах [1, 2] показано, что нано- и микрочастицы могут выступать в роли затравочных центров, что в свою очередь должно способствовать увеличению выхода металла по току.

В качестве другого примера можно рассмотреть цинкование. Здесь повышение эффективности электроосаждения можно рассматривать как способ снижения степени наводораживания изделия и, соответственно, снижения избыточной хрупкости.

Целью работы: изучение характеристик (выход металла по току) электролитов в зависимости от содержания в них наночастиц.

#### **Методика экспериментальных исследований.**

Экспериментальные исследования проводили для электролитов, применяемых при износостойком хромировании и защитно-декоративном цинковании. За основу были взяты следующие составы. Электролит хромирования: ангидрид хромовый – 250 г/л, кислота серная 2,5 г/л, остальное – вода, т.е. наиболее широко применяемый стандартный состав. Электролита цинкования: цинк хлористый – 80 г/л, аммоний хлористый – 200 г/л, борная кислота – 20 г/л, добавка ЦКН-3 – 30 г/л, дистиллированная вода.

Выход металла по току рассчитывали по методике, изложенной в [3]. Для этого определяли массу покрытия путем взвешивания образцов до и после металлизации.

Контрольные образцы были получены осаждением из электролитов, указанных выше составов. Модифицированные образцы получали из электролитов, в которые были приготовлены на основе воды, в которой производили электроимпульсное разрушение алюминиевого образца. Использовали установку, описанную в [4]. В ней реализован принцип электроразрядного взрыва для синтеза ультрадисперсных частиц.

**Результаты и их обсуждение.** Перед использованием частиц, синтезированных при электроразрядном разрушении алюминия (по технологии, реализующей одноимпульсный электроразрядный взрыв), в составе гальванических электролитов, была произведена оценка их размеров. Методом атомно-силовой микроскопии установлено, что более 75% синтезированных частиц имеют размер до 100 нм.

Результаты экспериментальных исследований по определению выхода металла по току при хромировании и цинковании из электролитов, содержащих продукты электроразрядного разрушения алюминия приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Значения величины выхода хрома по току от состава электролита и технологических режимов металлизации

Плотность тока / температура	Выход хрома по току (%) при концентрации частиц в электролите (г/ л)					
	0,0	0,1	1,0	5,0	10,0	15,0
40 А/дм <sup>2</sup> / 45 °С	18,1	18,1	18,0	18,2	18,2	18,1
40 А/дм <sup>2</sup> / 55 °С	16,8	16,8	16,8	16,9	16,9	16,9
50 А/дм <sup>2</sup> / 45 °С	18,8	18,8	18,9	18,8	18,8	18,9
50 А/дм <sup>2</sup> / 55 °С	17,4	17,4	17,3	17,4	17,5	17,5

Таблица 2 – Значения величины выхода цинка по току от концентрации частиц в электролите

Плотность тока / температура	Выход цинка по току (%) при концентрации частиц в электролите (г/ л)					
	0,0	0,1	1,0	5,0	10,0	15,0
2 А/дм <sup>2</sup> / 20 °С	90,5	91,5	90,5	90,6	91,7	90,6

Как можно видеть из приведенных данных, на выход хрома по току, независимо от концентрации продуктов электроразрядного разрушения алюминия в электролите, наибольшее влияние оказывает изменение катодной плотности тока и температуры. Добавка ультрадисперсных частиц в количестве до 15 г/л влияния на выход металла по току при хромировании практически не оказывает.

Установлено, что добавление в электролит цинкования продуктов электроразрядного разрушения алюминия в концентрации не превышающей 15 г/л оказывает незначительное влияние на выход цинка по току в сторону его увеличения. Наибольшее влияние зафиксировано при концентрации добавки 10 г/л. Однако, даже максимальное увеличение выхода цинка по току не выходит за пределы доверительного интервала измерений.

Полученные результаты позволяют утверждать, что применение наноразмерных частиц, синтезированных при электроразрядном разрушении алюминия не потребуют корректировки технологических режимов таких процессов как хромирование и цинкование. Используемые нами частицы могут представлять интерес как модификаторы самих покрытий. Это обусловлено тем, что различные ультрадисперсные добавки к электролитам в целом зарекомендовали себя с положительной стороны в плане формирования композиционных покрытий с

улучшенными эксплуатационными характеристиками [1, 2]. Влияние же частиц, синтезированных при электроразрядном разрушении алюминия, на характеристики покрытий требует дальнейшего изучения.

**Заключение.** Установлено, что электролиты хромирования и цинкования, приготовленные с добавлением водных наносuspензий, полученных при электроразрядном разрушении алюминия не отличаются по выходу металла по току от стандартных.

## Литература

1. Сайфуллин, Р. С. Композиционные покрытия и материалы / Р. С. Сайфуллин – М. : «Химия», 1977. – 272 с.

2. Лещик, С. Д. Электроосаждение хрома из наноэлектролитов, полученных с использованием технологий лазерной абляции твердофазных материалов в водной среде / С. Д. Лещик, П. И. Шупан, А. Г. Лежава // Весн. ГрДУ імя Я. Купалы. Сер. 6, Тэхніка. – 2015. – № 1 (198). – С. 13–19.

3. Лобанов, С. А. Практические советы гальванику / С. А. Лобанов // – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ие. 1983. – 248 с.

4. Лещик, С. Д. Процессы и установки для получения наночастиц методами, использующими плазменное состояние вещества. Электроимпульсное разрушение материалов / С. Д. Лещик [и др.] // Актуальные проблемы науки и техники: материалы I Международной научно-технической конференции, Сарапул, 20–22 мая 2021 г.: СПИ (филиал) ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова». – Ижевск: Изд-во УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2021. – С. 37–41.

**С. Т. Тарасевич, М. С. Лещик, А. С. Гончаров**  
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **С. Д. Лещик**, канд. техн. наук, доцент

## **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАЗМЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТОВ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ МОЛИБДЕНА В ЭТАНОЛЕ**

**Введение.** Приготовление наносuspензий из сухих нанопорошков из-за их слеживания зачастую характеризуется наличием в жидкости

не наночастиц а их агломератов микронных размеров. Абляция твердых тел в жидкость позволяет получать готовые наносuspensions. При абляции проблема слеживаяния нанопорошков снимается. Следует отметить, что ограничений по используемым материалам мишеней для импульсной лазерной абляции (ИЛА) нет. При этом, помещая мишень в различные жидкие среды и управляя технологическими параметрами процесса, можно варьировать размер, морфологию и состав генерируемых наноструктур [1–4]. Интерес исследователей к изучению наночастиц в последние годы лишь возрастает [4–7].

Цель работы – исследование характеристик частиц, которые получены в результате ИЛА молибдена в этаноле.

**Методика экспериментальных исследований.** Импульсную лазерную абляцию молибдена проводили с использованием Nd:YAG-лазера LS-2147 излучением с длиной волны, равной 532 нм. Кроме лазера в состав экспериментальной установки входила оптическая фокусирующая система, кювета с жидкостью и мишенью. В данной работе абляцию проводили в этаноле. Блок-схема и принцип работы экспериментальной установки для проведения лазерной абляции твердофазных веществ в жидких средах описаны в литературе [2, 4].

Так как синтезированные при ИЛА частицы находились в жидкой среде (в виде суспензии), то для микроскопических исследований по определению их размеров, необходимо было нанести каплю жидкости на стекло и высушить. Таким образом получали образцы для атомно-силовой микроскопии (АСМ). На основе обработки АСМ-изображений частиц судили об их размерах.

**Результаты и их обсуждение.** Репрезентативные изображения частиц, полученных при абляции молибдена в этаноле, представлены на рисунке 1. Как можно видеть, преимущественно наблюдаются частицы округлой формы, однако имеется некоторое количество конгломерированных частиц, встречаются также отдельные крупные образования сложной формы.

Анализ размерного распределения продуктов абляции молибдена в этаноле показал следующее. Большая часть образующихся частиц имеет размер до 100 нм. На рисунке 2 приведены данные экспериментов по определению размеров частиц, полученных при абляции молибдена в этаноле лазерными импульсами с длиной волны, равной 532 нм, и разной плотности мощности излучения  $\Omega$ .

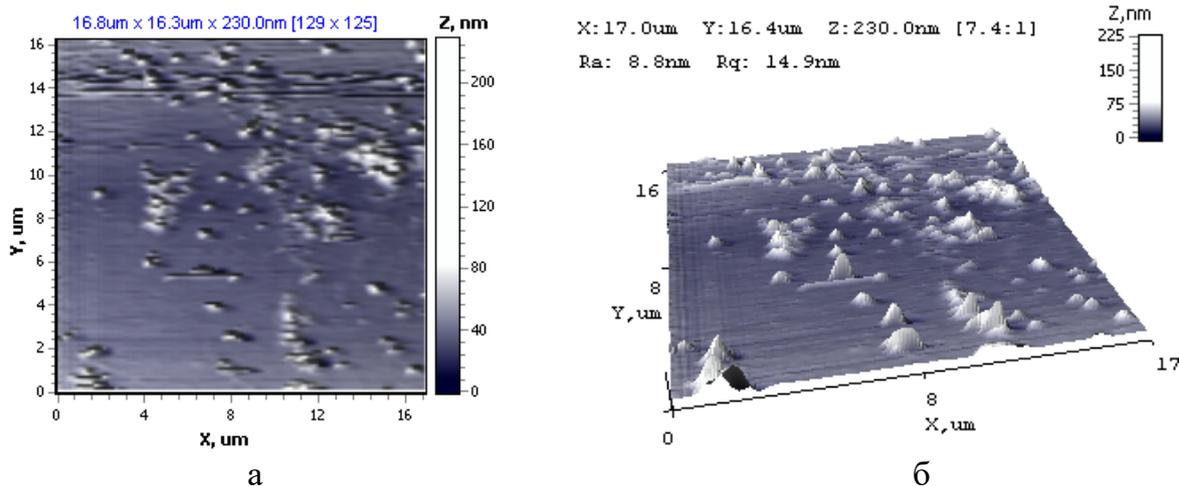
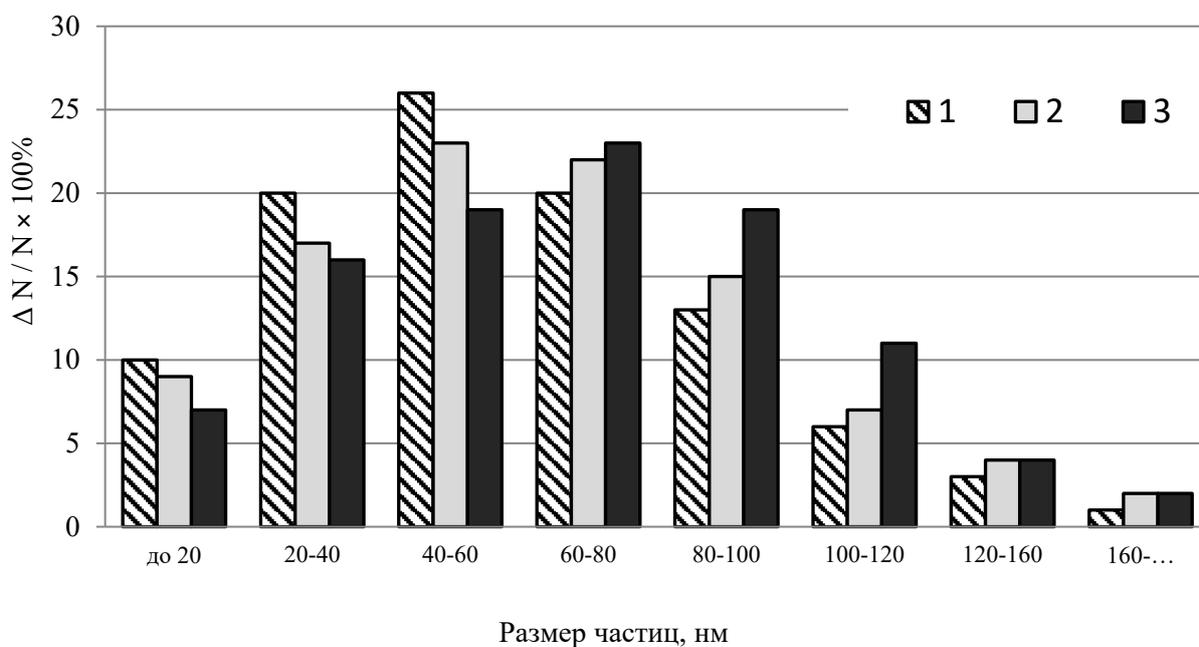


Рисунок 1 – Полутоновое (а) и трехмерное (б) АСМ-изображения частиц, полученных абляцией молибдена в этаноле лазерными импульсами с длиной волны, равной 532 нм, и плотностью мощности излучения  $\Omega = 3,4 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>



1 –  $\Omega = 3,4 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>; 2 –  $\Omega = 5,3 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>; 3 –  $\Omega = 8,5 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>;

Рисунок 2 – Графическое представление размерного распределения частиц, полученных при абляции молибдена в этаноле

Установлено, что при плотности мощности лазерного излучения, равной  $3,4 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>, максимум на гистограмме (рисунок 2) наблюдается в области 40–60 нм. При увеличении плотности мощности излучения до  $5,3 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup> пик на гистограмме размерного распределения частиц в этаноле снижает интенсивность не меняя своего поло-

жения и смещается в диапазон 60–80 нм при еще большем энергетическом воздействии на мишень, а именно, для излучения средней гармоники Nd:YAG-лазера при  $\Omega = 8,5 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>.

**Заключение.** В результате исследований изучены размерные характеристики продуктов импульсной лазерной абляции молибдена в этаноле. Выявлено, что, меняя технологические режимы синтеза, можно управлять размером образующихся частиц, например, можно получать частицы большего размера, увеличивая на поверхности мишени плотность мощности излучения средней гармоники Nd:YAG-лазера с  $3,4 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup> до  $8,5 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>.

### Литература

1. Макаров, Г. Н. Применение лазеров в нанотехнологии: получение наночастиц и наноструктур методами лазерной абляции и лазерной нанолитографии / Г. Н. Макаров // Успехи физических наук. – 2013. – Т.183, № 7. – С. 673–718.

2. Влияние физико-химических свойств жидкости на процессы лазерной абляции и фрагментации наночастиц Au в изолированном объеме / С. В. Казакевич [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т.14, № 4. – С. 64–69.

3. Образование наночастиц при лазерной абляции твердых тел в жидкостях / А. В. Симакин [и др.] // Труды института общей физики им. А. М. Прохорова. – 2004. – Т.64. – С. 83–107.

4. Лещик, С. Д. Исследование частиц, генерированных лазерной абляцией твердых тел в жидкости / С. Д. Лещик, К. Ф. Зноско, Ю. К. Калугин // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2014. – № 4. – С. 6–10.

5. Наночастицы и нанотехнологии в медицине сегодня и завтра / Л. Ф. Абаева [и др.] // Альманах клинической медицины. – 2010. – № 22. – С. 10–16.

6. Линников, О. Д. Сорбция шестивалентного хрома из водного раствора наноразмерным магнетитом / О. Д. Линников, И. В. Родина, В. Г. Шевченко // Вода: химия и экология. – 2011. – № 5. – С. 68–75.

7. Поул, Ч. Нанотехнологии / Ч. Поул – мл., Ф. Оуэнс // – М. : «Техносфера», 2006. – 336 с.

**О. И. Тихон, В. А. Кондратьева**  
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **С. И. Мадвейко**, канд. техн. наук, доцент

## **ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ СВЧ МАГНЕТРОНА НА НАГРЕВ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН**

Технологический маршрут изготовления изделий микро- и наноэлектроники, в большинстве случаев, предусматривает проведение ряда периодически повторяющихся операций, таких как, к примеру, процессы фотолитографии, очистки подложек, формирования защитных масок. На выполнение подобных операций, реализуемых с использованием вакуумно-плазменного оборудования, может затрачиваться основная часть времени, необходимого для получения готового прибора. Актуальной задачей, таким образом, является рассмотрение возможных методов интенсификации процессов плазменной обработки полупроводниковых материалов.

Одним из способов интенсификации процесса СВЧ плазмохимического удаления фоторезистивного материала с поверхности кремниевых пластин может являться сокращение времени их нагрева. Целью исследования являлся контроль скорости нагрева Si пластин микроволновым излучением и её зависимость от режима генерации СВЧ энергии.

Экспериментальные исследования проводились на базе СВЧ плазмотрона резонаторного типа. В качестве источника энергии выступал СВЧ магнетрон 2М261-М22, подключённый к управляемому трёхфазному импульсному источнику питания [1]. Возможность точного управления режимом питания СВЧ магнетрона позволила оценить изменение скорости СВЧ нагрева Si пластин с увеличением подводимой к СВЧ магнетрону мощности.

При проведении экспериментов СВЧ магнетрон функционировал в импульсном режиме, скважность пачек импульсов анодного тока килогерцового диапазона была равна двум. Значения величины мощности, потребляемой СВЧ генераторной системой, устанавливались в диапазоне 500 – 1900 Вт. Температура обрабатываемых пластин, которые располагались в центральной зоне рабочего объёма плазмотрона, фиксировалась каждую секунду контактным методом с помощью хромель-алюмелевой термопары.

На рисунке 1 показаны полученные экспериментальные зависимости температуры пластин от времени нагрева.

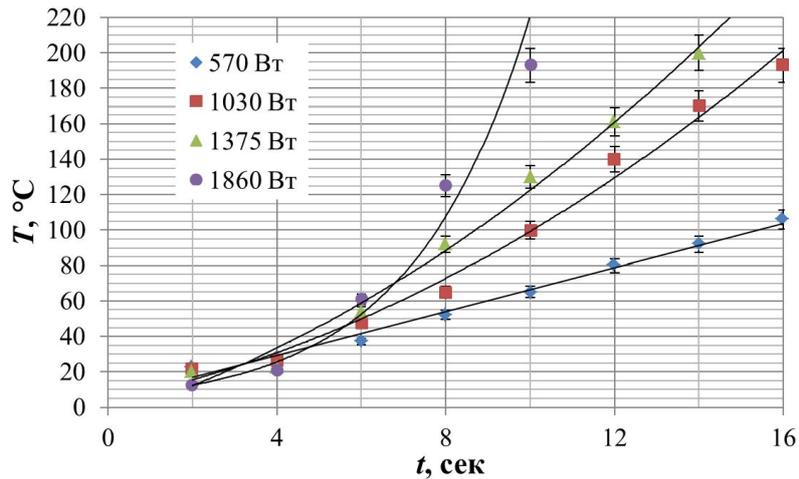


Рисунок 1 – Зависимость температуры кремниевых пластин от времени воздействия СВЧ энергией при различных уровнях мощности, подводимой к СВЧ магнетрону

Увеличение мощности при воздействии СВЧ энергии на пластины приводит к повышению скорости их нагрева. Минимальное исследуемое значение мощности показывает линейный характер зависимости температуры пластин от времени обработки. С повышением подаваемой на СВЧ магнетрон мощности после 6 секунд нагрева пластин данная зависимость приобретает нелинейную монотонную форму. Установлено, что максимальная исследуемая мощность позволяет обеспечить нагрев полупроводниковых кремниевых пластин со скоростью до  $\sim 20$  °C/сек за счёт поглощения ими микроволнового излучения.

Полученные результаты показывают, что высокая поглощающая способности Si пластин при воздействии СВЧ энергией может обеспечить возможность сокращения времени удаления фоторезистивного материала за счёт реализации предварительного нагрева, осуществляемого путём обеспечения задержки начала плазмообразования.

## Литература

1. Исследование характера изменения величины СВЧ мощности в плазменном объеме при квазипостоянном режиме её генерации / О. И. Тихон [и др.] // Приборостроение – 2021: материалы 14-й Междун. научно-технической конференции, Минск, 17–19 ноября 2021 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. ; редкол : О. К. Гусев (гл. ред) [и др.]. – Минск, 2021. – С. 357–358.

**Н. В. Томкович**  
(Институт физики НАН Беларуси, Минск)  
Науч. рук. **А. В. Казак**, канд. физ.-мат. наук

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНОГО РАЗРЯДА ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ В СМЕСИ $\text{CO}_2$ И $\text{CH}_4$**

Биогаз является перспективным возобновляемым источником энергии и важным компонентом для будущего энергоснабжения [1]. Для стабильной работы газоразрядного устройства важно знать, как состав газа влияет на параметры разряда, чему посвящена данная работа.

Плазмохимический реактор представляет собой двухсекционную цилиндрическую камеру с конфигурацией электродов катод-анод-анод [2]. Использование такой конфигурации приводит к тому, что для инициирования разряда в секции В необходимо подавать более низкое напряжение, чем в конфигурации катод-анод. Кроме того, использование этой конфигурации позволяет получить стабильный разряд в секции В. Смесь  $\text{CH}_4$  с  $\text{CO}_2$  подавалась в плазмохимический реактор через секцию А, где зажигался самостоятельный тлеющий разряд, который служил плазменным катодом для несамостоятельного разряда в секции В (рисунок 1). Основной процесс конверсии  $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$  смеси протекает в секции В, поэтому наибольший интерес представляют параметры этой области разряда. В работе рассматриваются 2 случая, когда доля метана в смеси составляет 10% и 50%.

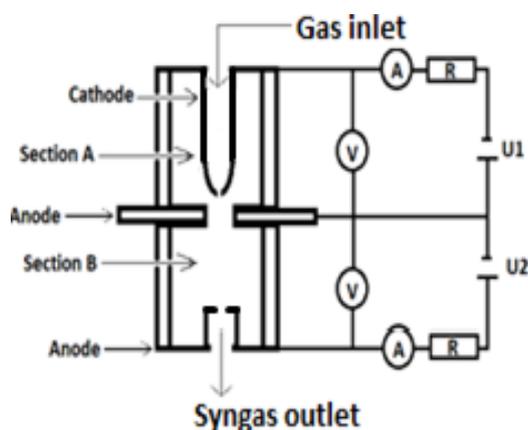


Рисунок 1 – Схема плазмо-химического реактора

На рисунке 2а представлены вольтамперные характеристики разряда в секции В в  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2+10\% \text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2+50\% \text{CH}_4$ . В секции А ток во всех случаях составлял 180 мА при напряжении 600 В. Видно, что наличие примеси метана приводит к смещению ВАХ в область больших напряжений на 500 В, а добавление метана от 10% до 50% к росту ещё на 50 В.

Увеличение примеси метана к основному газу ( $\text{CO}_2$ ) приводит к изменению формы несамостоятельного разряда от контрагированного к диффузному. В предположении, что вдоль положительного столба тлеющего разряда ток практически не изменяется, а положительный столб имеет симметричную форму [3], зная общий ток разряда и радиальное распределение формы положительного столба, были определены распределения плотности тока вдоль положительного столба (рисунок 2б).

Также одним из важных параметров разряда является напряжённость электрического поля, которую в случае несамостоятельного разряда можно определить по углу наклона кривой  $U(d)$ .

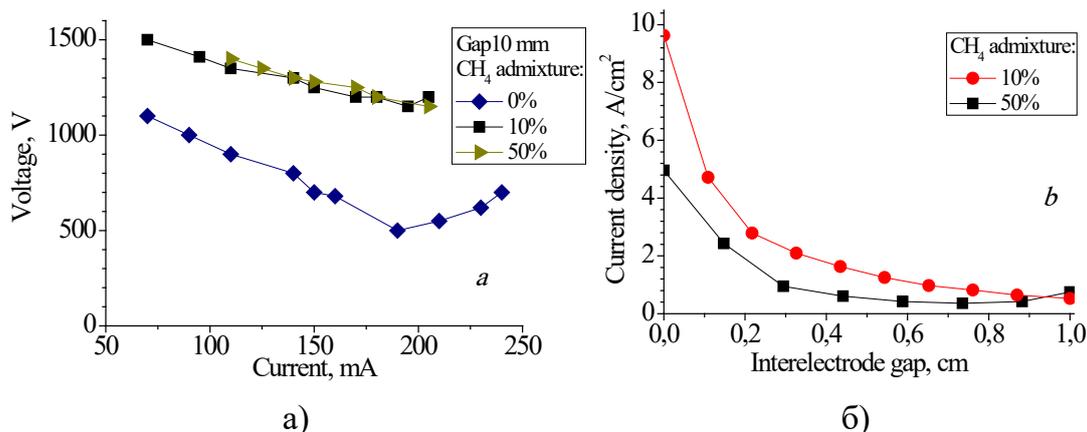


Рисунок 2 – Вольтамперные характеристики несамостоятельного разряда в секции В при разрядном промежутке 10 мм (а) и зависимость плотности тока от межэлектродного промежутка (б)

Таким образом в случае 90:10 напряжённость электрического поля составила 562,5 В/см, а в случае 50:50 – 850 В/см. В предположении, что в обоих случаях реализуется средняя газовая температура 3000 К, можно определить приведённую напряжённость электрического поля в секции В, которая составляет 23 Тд и 35 Тд для концентрации метана 10% и 50% соответственно.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта БРФФИ Ф20ГРМГ–002.

## Литература

1. Plasma technology: an emerging technology for energy storage / A. Bogaerts, E. C. Neyts. – ACS Energy Letters, 2018. – V.3. – P.1013–1027.
2. Ethanol conversion in a DC atmospheric pressure glow discharge / V. I. Arkhipenko [et al.] // Int. J. Hydrogen Energy. – 2016. – Vol. 41. – P. 18320–18328.
3. Raizer, U. P. Gas Discharge Physics / U. P. Raizer. – Springer, Berlin. – 1991. – 449 p.

**В. И. Тусов, А. С. Шкандратова**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Я. А. Косенок**, канд. техн. наук

### **РАЗРАБОТКА ИОННООБМЕННОГО МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ КОЛЛОИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ SiO<sub>2</sub>**

Кремнийсодержащие материалы широко применяются как в области высоких технологий, так и в повседневной жизни. На их основе получено большое количество материалов: катализаторов и адсорбентов, покрытий и стекол, термоизоляционных и звукоизоляционных, пористых материалов, керамики, композиционных и лакокрасочных материалов, буровых растворов и реагентов и т.д. [1].

Актуальность разработки обусловлена тем, что методы получения коллоидных композиций диоксида кремния лежат в основе многих современных технологий, связанных с производством материалов самого разнообразного назначения, обладающих уникальными свойствами и регулируемой структурой.

В настоящее время применяется несколько основных методов синтеза золь диоксида кремния:

- растворение элементарного кремния;
- кислотная нейтрализация растворимых силикатов;
- электролиз;
- гидролиз соединений кремния;
- ионный обмен;
- диспергирование пирогенного кремнезема [2].

Одним из перспективных методов получения особо чистых материалов для изготовления разнообразных изделий для оптики, электроники, теплотехники, химической промышленности и т.п. является ионнообменная технология, основанная на использовании имеющих низкую стоимость растворов силиката натрия (метод Бёрда) [3]. По этой технологии получают концентрированные ультрадисперсные коллоидные композиции с частицами SiO<sub>2</sub> сферической формы и радиусом от 3 нм до 20 нм (и выше), монодисперсностью (отклонение от среднего радиуса частиц составляет несколько процентов).

Схема разработанной лабораторной установки для получения композиций ионообменным способом представлена на рисунке 1.

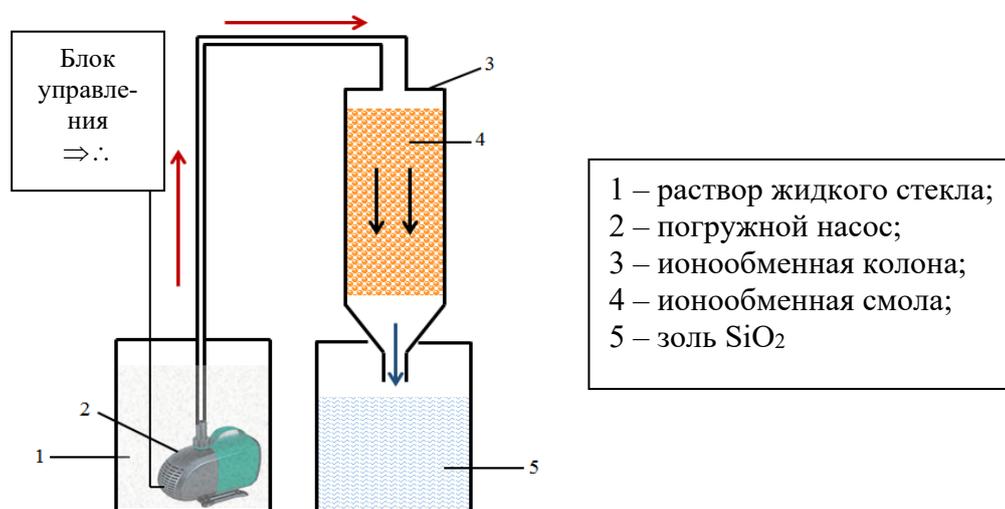


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки для получения композиций ионообменным способом

Взаимодействие раствора силиката натрия с катионитом, приводящая к обмену катиона натрия на протоны, при синтезе силикатного золя происходит по следующей реакции:



При этом образуется раствор кремниевой кислоты с pH=2,8–3,0. Образование зародышей золевых частиц диоксида кремния происходит при добавлении раствора гидроксида натрия, что приводит к росту частиц до коллоидных размеров. В результате величина pH дости-

гает значений  $8\div 10$ . Необходимое количество щелочи определяется размером частиц  $\text{SiO}_2$ : в раствор с меньшими частицами требуется добавление большего количества щёлочи для стабилизации композиции. Далее раствор концентрируют, выпаривая его и постепенно добавляя раствор, поступающий из ионообменника (золь-питатель). Концентрированные композиции, стабилизированные гидроокисями щелочных металлов, подвергают дополнительной деионизации, пропуская через  $\text{H}^+$ -катионит.

В отличие от способа нейтрализации добавлением в силикатный раствор свободной кислоты, при ионообменном способе в растворе не образуются продукты нейтрализации – соли-электролиты, способствующие агрегации частиц в сетки геля. Образованный раствор с зародышами золевых частиц стабилизируют, доводя рН до 8-9 добавлением раствора щелочи. Вид вводимой щелочи определяет тип кремнезоля по стабилизирующему катиону ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Li}^+$  или  $\text{NH}_4^+$ ).

## Литература

1. Готтштайн, Г. Физико-химические основы материаловедения / Готтштайн Г. ; пер. с англ. под ред. В. П. Зломанова. – М. : БИНОМ, 2009. – 400 с.
2. Айлер, Р. Химия кремнезёма / Р. Айлер. – М. : Мир, 1982. – Ч. 2. – 1128 с.
3. Colloidal solutions of inorganic oxides: [Electronic resource] : pat. US 2244325 / P. G. Bird. – Publ. date 03.06.1941 – URL: <http://www.freepatentsonline.com/2244325.html>. – Date of access: 21.05.2016.

**П. А. Фурсеев**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. В. Семченко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРАФЕНСОДЕРЖАЩИХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПОКРЫТИЙ

В настоящее время наноструктурированные плёнки прозрачных проводящих оксидов (ППО) [1–4] являются одними из самых исследуемых объектов. Анализ базы данных Scopus показывает, что число публикаций по данной теме только за последние 5 лет увеличилось

вдвое. Так, в Европе значительных результатов в сфере исследования и применения пленок ППО добились швейцарская федеральная лаборатория материаловедения (EMPA), центр исследования солнечной и водородной энергетики (ZWS, Штутгарт, Германия) и институт Фраунгофера (Германия), работающие в сфере исследования плёнок ППО для солнечной энергетики. В Азии подавляющая доля публикаций по теме ППО приходится на долю китайских, корейских и японских ученых. В Китае исследования в области наноструктурированных ППО проводятся, например, в таких ведущих университетах как университет Цинхуа (Tsinghua University), Пекинский Университет (Peking University) и Шанхайский университет (Shanghai University). В Южной Корее следует выделить такие исследовательские центры как Сеульский национальный университет (Seoul National University) и университет KAIST (Korea Advanced Institute of Science and Technology). В Японии исследованиями ППО занято большое число исследовательских лабораторий в университетах и при крупных промышленных корпорациях, работающих в сфере электроники, такие как SONY, Mitsubishi и др. Указанные материалы могут успешно синтезироваться, в частности, с использованием методов золь-гель синтеза и спрей пиролиза и в дальнейшем применяться для создания эффективных устройств солнечной энергетики.

Графенсодержащие пленки могут быть синтезированы, в частности, золь-гель методом. Они могут быть использованы в различных полупроводниковых устройствах.

Золь-гель метод основан на взаимодействии оксидов металлов либо совместном осаждении гидроксидов металлов с кристаллизацией оксидов при последующей термической обработке. Этот метод позволяет в достаточно широких пределах варьировать свойства получаемых материалов при достаточной простоте самого метода. Этот метод также достигать требуемой дисперсности и значительного взаимодействия компонентов. Золь-гель технология характеризуется большой экономичностью в сравнении, например, с плазменными и вакуумными методами напыления тонких пленок. Схема этапов золь-гель процесса на примере оксида цинка представлена на рисунке 1.

Золи могут наноситься на подложки различными методами: окунанием, центрифугированием, электрофорезом или напылением. Любая усушка или уплотнение золя в процессе напыления должны компенсироваться для того, чтобы сохранить оптимальное состояние агрегирования. Каждый конкретный метод нанесения зависит от под-

ложки, а, в частности, от ее формы и материала. Подложка обязательно должна быть предварительно тщательно зачищена.

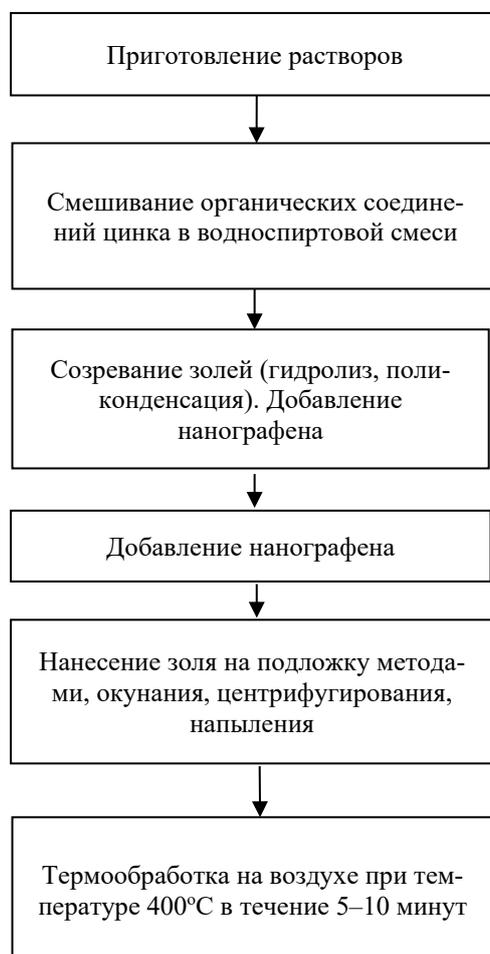


Рисунок 1 – Этапы золь-гель метода на примере оксида цинка

Важной характеристикой графенсодержащих золь-гель пленок является поверхностное сопротивление. В таблице 1 приведены значения измерений поверхностного сопротивления при температуре 19 °С, влажности 69% и давлении 97,9 кПа.

Таблица 1 – Измерение значений поверхностного сопротивления

Образец	Сопротивление, МΩ												
	ZnO:Al + УНТ (1) и 2	1,23	1,35	1,37	1,39	1,45	1,45	1,45	1,49	1,54	1,55	1,56	1,60
	1,14	1,14	1,16	1,20	1,22	1,24	1,42	1,47	1,49	1,50	1,51	1,55	1,45±2,1%

Вывод: значения поверхностного сопротивления являются высокими, в дальнейшем необходимо усовершенствовать золь-гель методу получения графенсодержащих плёнок.

## Литература

1. Zinc oxide from fundamental properties towards novel applications / C. F. Klingshirn, B. K. Meyer, A. Waag, A. Hoffmann, J. Geurts – Springer: Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 359 p.
2. Yu Ruei-Sung Synthesis and Characteristics of Zn-Doped CuCrO<sub>2</sub> Transparent Conductive Thin Films / Yu Ruei-Sung, Chu Chen // Coatings. – 2019. – Vol 9, № 5. – P. 321.
3. Solution Combustion Synthesis of Transparent Conducting Thin Films for Sustainable Photovoltaic Applications/ U Sana [et.al] // Sustainability. – 2020. – Vol. 12. – P. 10423.
4. Özgür, Ü. A comprehensive review of ZnO materials and devices / Ü. Özgür, Ya. I. Alivov, C. Liu et al. // J. Appl. Phys, 2005. – Vol. 98. – P.1–103.

**Д. В. Швецов, С. Н. Анучин**

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **Н. Г. Валько**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОЧАСТИЦ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Области применения наночастиц в настоящее время чрезвычайно широки – материаловедение; биотехнологии; полупроводники; сверхёмкие магнитные носители; химические нанокатализаторы, наносорбенты, нанооптоэлектроника и многое другое. Их широкое применение и использование в различных сферах производственной деятельности и науке связано, с главным образом, с уникальными свойствами наночастиц, обусловленными размерными эффектами, высокой оптической нелинейностью и явлением плазмонного резонанса. Наличие этих специфических свойств и особенностей служит основой для более детального исследования наноразмерных структур. При этом, актуальной задачей является получение и исследование наночастиц различных металлов, позволяющих модифицировать их свойства и создавать новые композитные материалы и сплавы с улучшенными эксплуатационными характеристиками [1, 2].

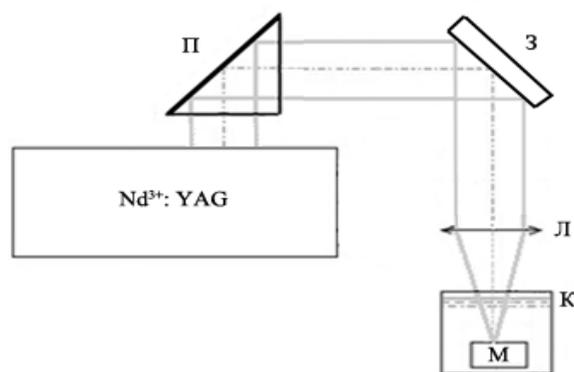
Объектами исследования являлись образцы гальванических сплавов цветных металлов (цинк, медь, кобальт). Степень чистоты металлов исследовалась на спектрометре энергий рентгеновского излуче-

ния СЕР-01 «ElvaX», согласно методике МВИ.МН 4092-2011. Результаты представлены в таблице 1. Как видно из таблицы концентрация исследуемых металлов в сплаве цинка составила 96,614 % (Zn), в образце сплава меди – 99,494 % (Cu), а в образце сплава кобальта – 99,897 % (Co).

Таблица 1 – Концентрация и элементный состав примесей в образцах исследуемых сплавов

Zn сплав			Cu сплав			Co сплав		
Ат. номер	Эл-т	Концентрация, %	Ат. номер	Эл-т	Концентрация, %	Ат. номер	Эл-т	Концентрация, %
23	V	0,062	23	V	0,506	23	V	0,103
29	Cu	3,278	29	Cu	99,494	27	Co	99,897
30	Zn	96,614						
82	Pb	0,046						

Получение наночастиц цветных металлов проводилось на экспериментальной установке с использованием Nd<sup>3+</sup>:YAG-лазера методом лазерной абляции в дистиллированной воде (рисунок 1). Образцы помещались в стеклянную кювету с дистиллированной водой объемом 20 мл. Лазерный пучок (длина волны 1064 нм, энергия в импульсе ~300 мДж, частота следования импульсов 10 Гц) фокусировался длиннофокусной линзой (F=614 мм) на поверхность мишени в жидкости. Нарботка наночастиц проводилась в течение 15 минут.



Nd<sup>3+</sup>:YAG – лазер (Lotis LS-2147); П – поворотная призма; З – зеркало; Л – фокусирующая линза (f=614 мм); К – кювета с дистиллированной водой; М – мишень (металл)

Рисунок 1 – Экспериментальная установка для получения наночастиц методом лазерной абляции в жидкости

Спектры поглощения полученных коллоидных растворов наночастиц цветных металлов измерялись на спектрометре Specord 200. Наночастицы осаждались на подложки из борсиликатного стекла из коллоидных растворов. Исследования морфологии поверхности и размерных параметров наночастиц цветных металлов проводились на атомно-силовом микроскопе NT-206 [2].

На рисунке 2 представлены спектры поглощения и изображение атомно-силовой микроскопии (АСМ) наночастиц цинка, осаждённых из коллоидного раствора наночастиц при лазерной абляции его гальванического сплава.

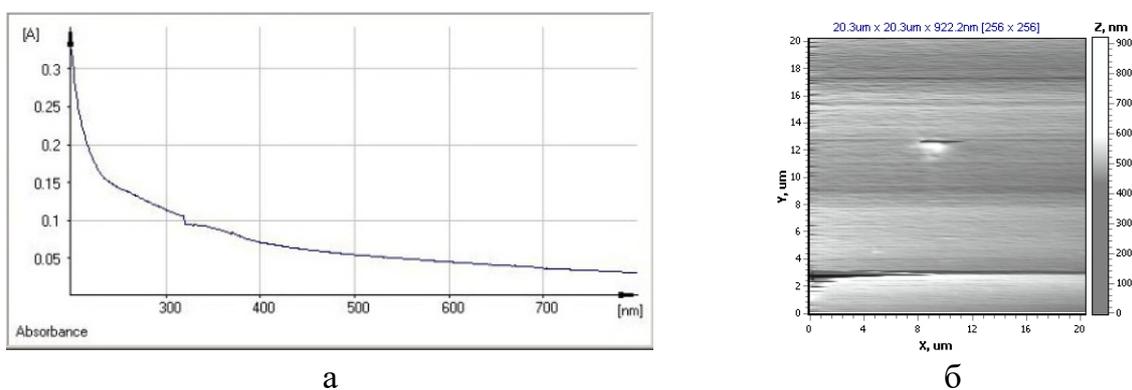


Рисунок 2 – Спектр поглощения (а) и АСМ изображение поверхности цинкового покрытия (б)

Из рисунка 2 а) видно, что спектр поглощения коллоидного раствора является достаточно широким и содержит слабовыраженный максимум в области 320–390 нм. Оптическая плотность раствора равнялась 0,09D, что соответствует концентрации  $\sim 0,09 \cdot 10^{-5}$  моль/дм<sup>3</sup>. При этом раствор имеет желтоватый оттенок.

Анализ АСМ изображения (рисунок 2 б) показывает, что полученное покрытие является достаточно равномерным, без выраженной структуризации и образовано мелкими нитевидными наночастицами размером 25–35 нм. На рисунке виден также единственный пирамидальный конгломерат с размерами  $\sim 1 \times 0,5$  мкм по основанию и высотой до 900 нм.

На рисунке 3 представлены спектры поглощения и АСМ изображение наночастиц меди, осаждённых из коллоидного раствора наночастиц при лазерной абляции её гальванического сплава.

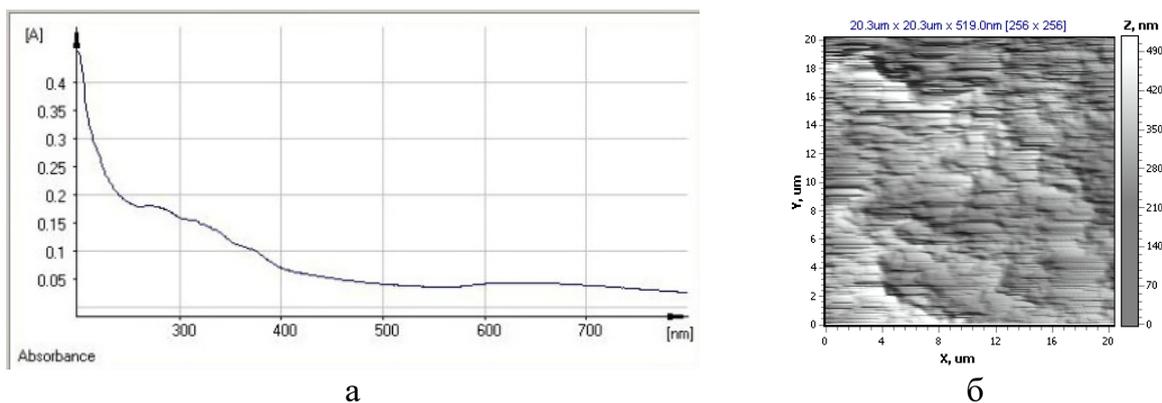


Рисунок 3 – а) Спектр поглощения и б) АСМ изображение поверхности медного покрытия

Из рисунка 3 а) видно, что спектр поглощения коллоидного раствора имеет два широких максимума: первый, в УФ и фиолетовой ( $\Delta\lambda = 270\text{-}390$  нм) и второй – в оранжево-красной ( $\Delta\lambda = 590\text{-}750$  нм) областях спектра. Оптическая плотность раствора наночастиц меди соответствовала  $\approx 0,05\text{-}0,17D$ , что равняется концентрации  $\sim 0,05\text{-}1,7 \cdot 10^{-5}$  моль/дм<sup>3</sup>. Цвет раствора – жёлтый. Как известно из [3], для наночастиц существует зависимость оптической плотности раствора от размеров наночастиц. При наличии в растворе наиболее мелких изолированных наночастиц, спектр поглощения характеризуется узкой и интенсивной полосой поглощения. Увеличение размеров наночастиц сопровождается длинноволновым сдвигом и расширением основной полосы поглощения. Следовательно, большой разброс размеров полученных наночастиц меди обуславливает их широкую полосу поглощения и низкую интенсивность спектра (рисунок 3 а).

Наблюдаемая на рисунке 3 б) морфология поверхности меди имеет столбчатую структуру, состоящую из крупных агрегированных конгломератов, расположенных под углом к поверхности. Размеры образовавшихся структур (кристаллитов) составляют  $\sim 2 \times 0,9$  мкм по основанию и до 450 нм по высоте. Размеры обособленных наночастиц составляют  $\sim 44\text{-}55$  нм.

На рисунке 4 представлены АСМ изображение наночастиц кобальта, осаждённого из коллоидного раствора наночастиц при лазерной абляции его гальванического сплава.

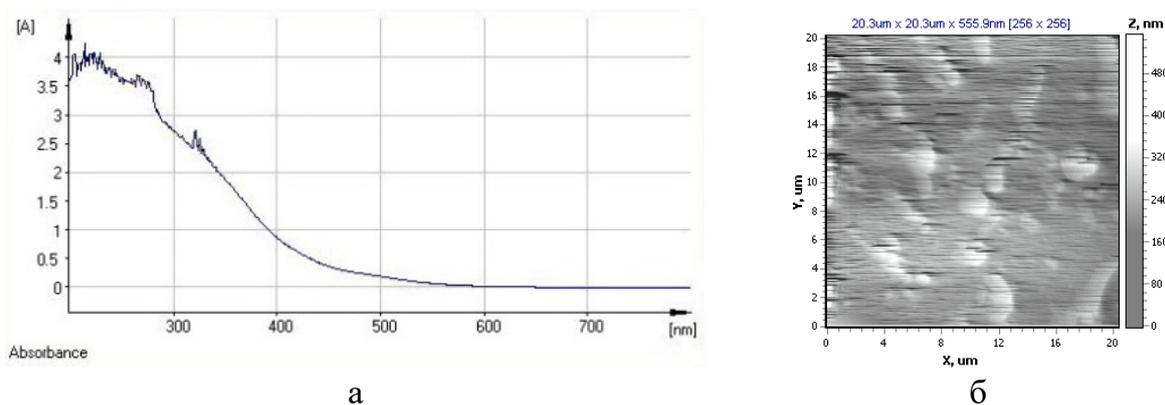


Рисунок 4 – а) Спектр поглощения и б) АСМ изображение поверхности кобальтового покрытия

Как видно из рисунка 4 а), спектр поглощения коллоидного раствора имеет два максимума в ультрафиолетовой области спектра: первый, немного уширенный ( $\Delta\lambda = 260-270$  нм), и второй – узкий ( $\lambda = 310$  нм). Оптическая плотность раствора наночастиц кобальта находится в диапазоне  $\approx 2,7-3,6D$ , что соответствует концентрации  $\sim 2,7-3,6 \cdot 10^{-4}$  моль/дм<sup>3</sup>. При этом раствор имеет желтоватый оттенок. Максимум поглощения в области 190–200 нм соответствует поглощению кварцевой кюветы спектрометра. Высокая оптическая плотность раствора кобальта при тех же условиях лазерной абляции обусловлена, вероятно, физико-химическими свойствами металла.

Представленная на рисунке 4 б) поверхность содержит упорядоченные продолговатые конгломераты, образованные из наноструктур пирамидальной формы разной степени агрегации. Размеры наблюдаемых конгломератов равны  $3 \times 1,5$  мкм по основанию и до 500 нм по высоте. Размеры обособленных наночастиц составляют  $\sim 30-40$  нм.

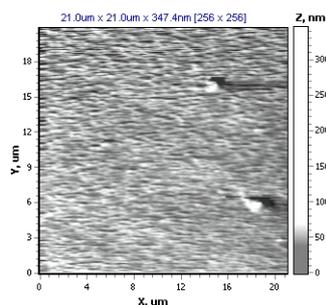


Рисунок 5 – АСМ снимок стеклянной подложки без покрытия

Для сравнения на рисунке 5 приведен АСМ снимок чистой подложки. Наблюдаемые две относительно крупные частицы являются инородными телами (пыль). Как видно, морфология поверхности до-

статочно однородная, без выраженных перепадов. Зернистость структуры обусловлена, вероятно, остаточной шероховатостью поверхности после полировки.

Отличие оптической плотности растворов наночастиц различных металлов, по-видимому, связано с различием их физико-химических свойств, а также коэффициентов отражения металлических образцов при абляции. Выяснено что большой разброс размеров полученных наночастиц меди обуславливает их широкую полосу поглощения и низкую интенсивность спектра.

## Литература

1. Иванов, А. М. Получение наночастиц при лазерной абляции металлических поверхностей в жидкости и исследование полученных структур оптическими методами / А. М. Иванов, Н. А. Мыслицкая, М. С. Капелевич // Изв. КГТУ. – 2011. – № 23. – С. 18–24.

2. Ануфрик, С. С. Морфология поверхностных наноструктур цветных металлов, осажденных из растворов аблированных наночастиц / С. С. Ануфрик, С. Н. Анучин, И. Г. Сергиенко // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6. Тэхніка. – 2021. – Т. 11. – № 1. – С. 59–65.

3. Li, W. R. Antibacterial activity and mechanism of silver nanoparticles on Escherichia coli. / W. R. Li [et al.] // Appl Microbiol Biotechnol. – 2010. – Vol.85, Issue.4. – 1115–22.

**А. Н. Шклярова<sup>1,2</sup>, М. Н. Стародубцева<sup>1,3</sup>**

(<sup>1</sup>Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель;

<sup>2</sup>ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель;

<sup>3</sup>ГГМУ, Гомель)

Науч. рук. **Д. Л. Коваленко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОВЕРХНОСТИ КЛЕТОК РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ, ОЦЕНИВАЕМЫЕ ПО ДАННЫМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ В РЕЖИМЕ FORCE VOLUME**

Атомно-силовая микроскопия (АСМ) – это современный метод, который используется для определения механических свойств материалов и биоматериалов. В процессе индентирования поверхности материала наноразмерным остриём зонда АСМ записываются сило-

вые кривые, по которым с использованием ряда теоретических моделей рассчитываются такие механические параметры, как модуль упругости, сила адгезии, деформация, жёсткость и др.

Клеточная механика играет важную роль в функционировании клеток и тканей [1]. При записи силовых кривых в режиме Force Volume регистрируются силы, действующие на острие АСМ зонда, когда он приближается или удаляется от выбранной точки (наноразмерной области) поверхности образца. При достижении силы определённого порогового, заданного заранее пользователем, значения система АСМ записывает данные о положении пьезосканера (высота Z) и АСМ зонд автоматически отводится. В режиме Force Volume запись силовых кривых осуществляется для каждого пикселя будущей карты механических параметров (единичного элемента поверхности образца). На рисунке 1 показаны типичные силовые кривые (кривая подвода отмечена синим цветом, кривая отвода - красным цветом) для живых раковых клеток линии BT-20.

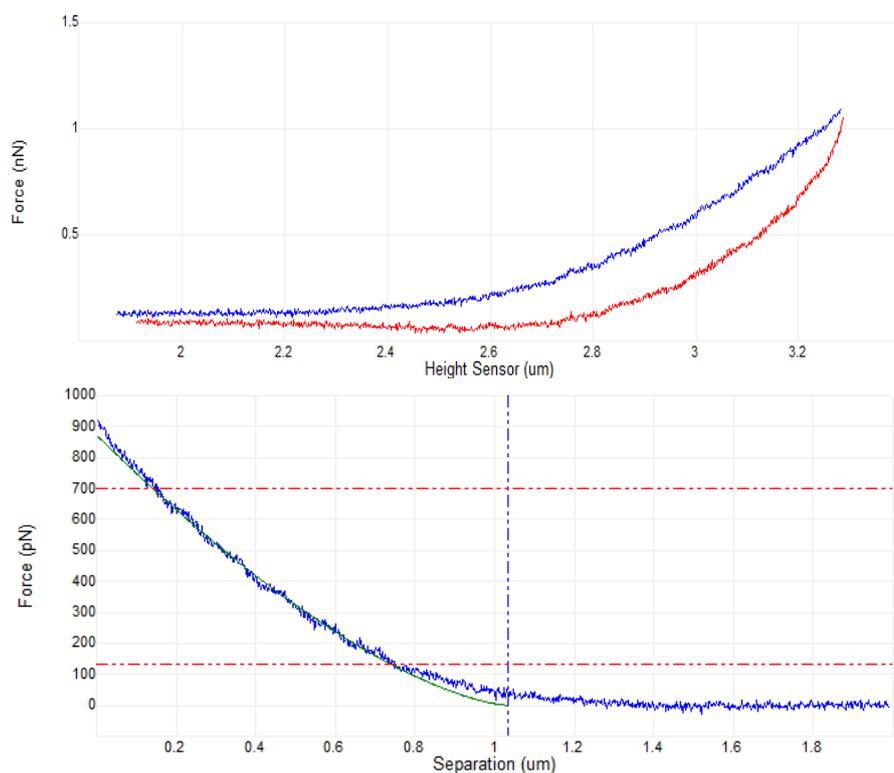


Рисунок 1 – Записанная силовая кривая в режиме Force Volume

В данной работе кривая подвода использовалась для расчёта модуля Юнга поверхности клетки. До того, как наконечник провзаимодействовал с поверхностью клетки, на кривой подвода имеется прак-

тически горизонтальный прямолинейный сегмент (рисунок 1). После того, как наконечник соприкоснулся с поверхностью, кривая изогнулась.

Для обработки данных наноиндентирования для сферических инденторов и оценки модуля Юнга по силовым кривым наиболее часто используется модель Герца, в которой зависимость силы от глубины индентирования (продавливания) образца представлена формулой 1 [2, 3].

$$F = \frac{4}{3} \frac{E}{(1-\nu^2)} \sqrt{R\delta^{3/2}}, \quad (1)$$

где  $F$  – сила,  $E$  – модуль Юнга,  $\nu$  – коэффициент Пуассона,  $R$  – радиус острия зонда,  $\delta$  – глубина индентирования.

Целью работы являлось определение влияния изменения состояния клеток рака молочной железы, индуцированное тепловым стрессом, на значение модуля Юнга их поверхности, измеренное с использованием режима Force Volume АСМ.

**Материалы и методы.** Клетки рака молочной железы линии BT-20 инкубировали при 37 °С и 5 % CO<sub>2</sub> на среде DMEM-F12 с добавлением 10 % фетальной бычьей сыворотки. Клетки высаживали в чашки Петри с адгезионным покрытием, инкубировали 3 суток при стандартных условиях, затем 30 минут на термошейкере при различных температурах (37°С – 44°С) с дальнейшей инкубацией 1 сутки при стандартных условиях. АСМ в режиме Force Volume (FV) проводили с помощью приборного комплекса Bruker BioScope Resolve (Bruker) и прекалиброванного зонда PFQNM-LC-A-CAL ( $k=0,088$  и  $0,098$  Н/м). Одним из главных параметров записи силовых кривых являются пороговое значение (Trig Threshold) – 1 нН, интервал записи (Ramp Size) – 2  $\mu\text{m}$ , линейность (line) – 20×20, интенсивность нажатия (Ramp Rate) 2 Гц, поступательная скорость (Forward velocity) – 8,14  $\mu\text{m}/\text{с}$ .

#### **Результаты и их обсуждение.**

В таблице 1 представлены средние значения модуля Юнга, рассчитанные с использованием модели Герца с учётом сил адгезии на основе анализа силовых кривых, записанных в режиме Force Volume для клеточных образцов, подвергшихся тепловому стрессу при различных температурах в интервале 37-48 °С.

С увеличением температуры с 37 до 44 °С имеет место резкое увеличение модуля Юнга поверхности клеток в диапазоне температур 42-44 °С (таблица 1). Максимальную жёсткость имеют клетки после их инкубации при 44 °С. Среднее значение модуля Юнга для поверх-

ности живых ВТ-20 клеток после их инкубации при этой температуре составляет 4,1 кПа, что почти в 2 раза больше, жёсткости контрольного образца клеток, инкубированных при 37 °С (2,1 кПа).

Таблица 1 – Значения модуля упругости

Температура, °С	37	40	42	44
Значение модуля упругости, кПа	2,1	2,4	2,5	4,1
p-value (T37-T40 –**, T37-T42 –**, T37-T44 –****, T40-T42 –ns, T40-T44 –****, T42-T44 –****)	ns-p>0,05; * –p≤0,05; ** –p≤0,01; *** –p≤0,001; **** –p≤0,0001			

В работе впервые измерен модуль Юнга поверхности клеток рака молочной железы ВТ-20 с использованием режима Force Volume АСМ и модели Герца с учётом адгезии. Выявлено резкое увеличение модуля Юнга поверхности раковых клеток после предварительной инкубации клеток при повышенной температуре в диапазоне температур 42–44 °С.

### Литература

1. Li, Mi. Effects of temperature and cellular interactions on the mechanics and morphology of human cancer cells investigated by atomic force microscopy / Li Mi and [et.al] // Sci China Life Sci.2015. – №.58. – С. 889–901.
2. Stylianos-Vasileios, K., The Hertz Model in AFM Nanoindentation Experiments: Applications in Biological Samples and Biomaterials, Micro and Nanosystems, 2018. –№.10. – С. 11–22.
3. Hertz, H. Über die Berührung Fester Elastischer Körper / H. Hertz // J. für die Reine u. Angew. Math.1881. – № 92. – С. 156–171.

## Секция 2 «Моделирование физических процессов»

### Председатели:

Тюменков Геннадий Юрьевич, канд. физ.-мат. наук, доцент.

Дей Евгений Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент.

### П. В. Асвинова

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. В. Ю. Гавриш, канд. физ.-мат. наук, доцент

### РАССЕЯНИЕ НА КУЛОНОВСКОМ ПОТЕНЦИАЛЕ

**Введение.** Известно, что задачи рассеяния в квантовой механике сводятся к решению нетривиальных дифференциальных или интегральных уравнений. Такие задачи достаточно трудны, поэтому для их решения используют различные приближения и аппроксимации для получения выражений наблюдаемых величин.

В работе изложена процедура получения дифференциального сечения для случая сферически-симметричного потенциала [1]. В разделе 1 обсуждается проблема решения уравнения Шредингера в первом приближении для произвольного оператора взаимодействия. В разделе 2 на основе результатов 1 получено выражение в случае кулоновского потенциала.

**1. Борновское приближение.** Известно, что задача рассеяния с оператором взаимодействия может быть сведена к решению интегрального уравнения

$$\psi(\vec{r}) = e^{i\vec{k}_0\vec{r}} - \int \frac{m}{2\pi\hbar^2} \frac{e^{i\vec{k}|\vec{r}-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|} V(\vec{r}')\psi(\vec{r}')d\vec{r}', \quad (1)$$

где  $\hat{V} = V(\vec{r})$  – оператор взаимодействия и  $|\vec{k}| = \sqrt{2mE_0/\hbar^2}$ . Уравнение (1) даже в простейших случаях потенциала решается достаточно трудно, поэтому часто применяется метод итерационных приближений. В нулевом приближении волновая функция (1) совпадает решением уравнения Шредингера без взаимодействия

$$\hat{H}_0 \psi_{\vec{k}}^0(\vec{r}) = E_0 \psi_{\vec{k}}^0(\vec{r}), \quad \hat{H}_0 = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta, \quad E_0 = \frac{\hbar^2 k_0^2}{2m}. \quad (2)$$

Определим выражение для волновой функции в первом приближении. Для этого используем предположение, что  $\vec{r} \gg \vec{r}'$ : в таком случае разложение в ряд Тейлора приводит к

$$|\vec{r} - \vec{r}'| = \sqrt{(\vec{r}^2 - 2\vec{r} \cdot \vec{r}' + \vec{r}'^2)} \simeq |\vec{r}| - \frac{\vec{r} \cdot \vec{r}'}{|\vec{r}|}, \quad (3)$$

откуда

$$\frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} = \frac{1}{|\vec{r}|} \frac{1}{|1 - \frac{\vec{r} \cdot \vec{r}'}{\vec{r}^2}|} \simeq \frac{1}{|\vec{r}|} \left( 1 + \frac{\vec{r} \cdot \vec{r}'}{\vec{r}^2} \right). \quad (4)$$

Используя выражение (1) и приближение  $\frac{\vec{r} \cdot \vec{r}'}{\vec{r}^2} \approx 0$  для рассеянной волновой функции получаем

$$\psi(\vec{r}) = e^{i\vec{k}\vec{r}} - \int \frac{m}{2\pi\hbar^2} \frac{e^{i\vec{k}|\vec{r}|} e^{-i\vec{k}\cdot\vec{r}'}}{\vec{r}} V(\vec{r}') \psi(\vec{r}') d\vec{r}'. \quad (5)$$

Сравнивая с выражением асимптотически расходящейся волны [2]

$$\psi_{\vec{k}}(\vec{r}) = e^{i\vec{k}_0\vec{r}} + f(\vec{k}', \vec{k}) \frac{e^{i\vec{k}\vec{r}}}{\vec{r}} \quad (6)$$

получаем, что амплитуда рассеяния определяется как

$$f(\vec{k}', \vec{k}) = -\int \frac{m}{2\pi\hbar^2} e^{i\vec{k}_0\cdot\vec{r}'} e^{-i\vec{k}\cdot\vec{r}'} V(\vec{r}') d\vec{r}', \quad (7)$$

где  $|\vec{k}_0|$  определяется из (2). Полученные выражения будут использованы ниже.

**2. Упругое рассеяние на кулоновском потенциале.** Определим выражение для дифференциального сечения на сферически-симметричном потенциале [3]

$$V(|\vec{r}|) = Z_1 Z_2 \frac{e^2}{|\vec{r}|}, \quad (8)$$

где  $Z_1, Z_2$  – заряды мишени и налетающей частицы [3]. В случае упругого рассеяния, когда импульсы начальной и конечной частиц равны, т. е.  $|\vec{k}_0| = |\vec{k}|$ , получаем

$$|\vec{k}_0 - \vec{k}| = \sqrt{k_0^2 + k^2 - 2|\vec{k}_0||\vec{k}|\cos\theta} = 2|\vec{k}|\sin\left(\frac{\theta}{2}\right). \quad (9)$$

Проводя интегрирование по телесному углу выражения (7)

$$\begin{aligned} \int e^{i\vec{k}_0 - \vec{k}|\vec{r}'|} V(\vec{r}') d\vec{r}' &= \int_0^\infty r'^2 V(r') dr' \int_0^\pi e^{i|\vec{k}_0 - \vec{k}|r' \cos\theta'} \sin\theta' d\theta' \int_0^{2\pi} d\varphi' = \\ &= \frac{4\pi}{|\vec{k}_0 - \vec{k}|} \int_0^\infty r' V(r') \sin(|\vec{k}_0 - \vec{k}|r') dr' \end{aligned} \quad (10)$$

с последующей подстановкой выражения (10) в (8) получаем

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left| f(\vec{k}', \vec{k}) \right|^2 = \frac{4Z_1^2 Z_2^2 m^2}{\hbar^4 |\vec{k}_0 - \vec{k}|^2} \left| \int_0^\infty \sin(|\vec{k}_0 - \vec{k}|r') dr' \right|^2. \quad (11)$$

Для вычисления интеграла выражения (11) воспользуемся следующим приемом:

$$\int_0^\infty \sin(|\vec{k}_0 - \vec{k}|r') dr' \Rightarrow \lim_{\lambda \rightarrow 0} \int_0^\infty e^{-\lambda r'} \sin(|\vec{k}_0 - \vec{k}|r') dr'. \quad (12)$$

Используя комплексное представление тригонометрических функций

$$\cos\alpha = \frac{e^{i\alpha} + e^{-i\alpha}}{2}, \quad \sin\alpha = \frac{e^{i\alpha} - e^{-i\alpha}}{2i} \quad (13)$$

получаем следующий вид искомого интеграла:

$$\lim_{\lambda \rightarrow 0} \int_0^{\infty} e^{-\lambda r'} \frac{e^{i|\vec{k}_0 - \vec{k}|r'} - e^{-i|\vec{k}_0 - \vec{k}|r'}}{2i} dr'. \quad (14)$$

После некоторых преобразований из выражения (14) получаем

$$\begin{aligned} \lim_{\lambda \rightarrow 0} \int_0^{\infty} e^{-\lambda r'} \frac{e^{i|\vec{k}_0 - \vec{k}|r'} - e^{-i|\vec{k}_0 - \vec{k}|r'}}{2i} dr' &= \frac{1}{2i} \lim_{\lambda \rightarrow 0} \left( \int_0^{\infty} e^{-(\lambda - i|\vec{k}_0 - \vec{k}|)r'} dr' - \int_0^{\infty} e^{-(\lambda + i|\vec{k}_0 - \vec{k}|)r'} dr' \right) = \\ &= \frac{1}{2i} \lim_{\lambda \rightarrow 0} \left( \frac{1}{\lambda - i|\vec{k}_0 - \vec{k}|} - \frac{1}{\lambda + i|\vec{k}_0 - \vec{k}|} \right) = \frac{1}{|\vec{k}_0 - \vec{k}|}. \end{aligned} \quad (15)$$

Подстановка выражения (15) в (11) приводит к окончательному результату

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{4Z_1^2 Z_2^2}{\hbar^4 |\vec{k}_0 - \vec{k}|^4} \quad (16)$$

или, с учетом (9),

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{4Z_1^2 Z_2^2}{16E^2} \sin^{-4} \left( \frac{\theta}{2} \right), \quad (17)$$

где было использовано определение  $E = \hbar^2 k_0^2 / 2m$ . Выражение (17) называют формулой Резерфорда [3].

**Заключение.** В ходе работы было получено выражение для рассеянной волны в борновском приближении. Результаты расчетов использованы для вычисления дифференциального сечения для сферически-симметричного потенциала с последующим получением формулы Резерфорда.

## Литература

1. Давыдов, А. С. Квантовая механика : учебное пособие / А. С. Давыдов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 704 с.
2. Ландау, Л. Д. Курс теоретической физики : в 10 томах. Т. 3. Квантовая механика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – Москва : Физматлит, 2008. – 800 с.

3. Блохинцев, Д. И. Основы квантовой механики : учебное пособие / Д. И. Блохинцев. – Москва. : Наука, 1976. – 664 с.

**А. С. Василевич**

(БрГТУ, Брест)

Науч. рук. **Л. А. Величко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **ПРИБЛИЗИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ НИТИ ВО ВРЕМЯ РЫВКА**

В решении большинства задач об ускоренном движении системы «груз–нить» делают предположение о том, что нить не растяжима. Из этого предположения следует, что падающий с ускорением груз растягивает нить с такой же силой, как и при равномерном опускании груза, т.е. вес груза проявляется только статически. Если признать это положение, то, как объяснить такой факт, что при свободном падении ( $\vec{a} = \vec{g}$ ) нить не растягивается, т.е. груз не действует на нить [1].

Проводимый эксперимент осуществлялся на установке, подобной маятнику Обербека, к которой подключался электронный блок и компьютер. На нити был подвешен груз массой  $m = 0,1$  кг. Длину нити  $l$  в статическом состоянии приняли равной 95 см. Результаты эксперимента обрабатывались в специальной программе, содержащей координатную систему. В ней отображались графики пройденного грузом пути, его скорости и ускорения в зависимости от времени движения. Аппроксимирующая функция полученной зависимости  $v(t)$  имеет вид:

$$v(t) = 7,9122t + 1,0077, \text{ см/с.}$$

Массу нити в расчетах не учитывали, поскольку силы натяжения нити на обоих концах одинаковы. Согласно третьему закону Ньютона, сила, действующая на груз со стороны нити, по величине равна силе, действующей на нить со стороны груза, висящего на ней.

В ходе эксперимента груз опускается с высоты  $h$  до нижнего положения, а затем поднимается вверх. Между этими двумя разнонаправленными, следующими один за другим движениями груза, именно в момент рывка, нить дополнительно быстро растягивается и действует на груз с возросшей силой, гораздо большей, чем до рывка [2].

Таким образом, движение системы «груз–нить» можно разделить на две стадии: непосредственно перед рывком и сам рывок.

Перед рывком сила натяжения нити сохраняет свое значение, поскольку ускорение груза постоянно, что зафиксировано на графике  $a = f(t)$ . К этому моменту система характеризуется растяжением нити  $y_0$  и скоростью груза  $v_0$ , равной 0,366 м/с.

Для определения величины  $y_0$  запишем закон сохранения энергии. Полная энергия системы перед падением с высоты  $h$  равна потенциальной энергии  $mgh$ , а полная энергия системы перед рывком равна сумме кинетической и потенциальной энергий груза, а также потенциальной энергии упруго деформированной нити:

$$mgh = mg(h - l - y_0) + \frac{mv_0^2}{2} + \frac{ky_0^2}{2} \quad (1)$$

$$y_0^2 - \frac{2mg}{k}y_0 - \frac{m}{k}(v_0^2 - 2gl) = 0 \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент жесткости нити, определяемый как среднее значение серии десяти нагружений ( $m_i g$ ) для данной нити ( $l = const$ ), и в нашем случае равный  $k = 50$  Н/м.

При движении груза вниз в момент рывка происходит резкое возрастание силы натяжения нити, что приводит к росту ускорения груза до значения  $a_{max}$ . В этот момент скорость достигнет максимального значения  $v_{max} = v_0 + a_{max}t$ , а через некоторое время станет равной нулю. Груз останавливается, и система оказывается в нижней точке траектории. В этот момент происходит изменения знака деформации нити (растяжение на сжатие). Удлинение нити достигает максимального значения  $y_{max}$ . Сила натяжения нити во время рывка обеспечивает движение груза вверх, которое тоже сложное. Сначала скорость груза возрастает от нулевого значения до  $v_{max}$ , а затем уменьшается до значения  $v_0$ .

Максимальное натяжение нити  $y_{max}$  определим из закона сохранения энергии, учитывая, что кинетическая энергия груза равна нулю:

$$mgh = mg(h - l - y_{max}) + \frac{ky_{max}^2}{2} \quad (3)$$

$$y_{max}^2 - \frac{2mg}{k}y_{max} - \frac{2mg}{k}l = 0. \quad (4)$$

Оценить растяжение нити  $\Delta y$  за время рывка можно по формуле  $\Delta y = y_{max} - y_0$ , предварительно решив уравнения (2) и (4). В нашем случае растяжение нити  $\Delta y$  равно  $4,23 \cdot 10^{-2}$  м.

Согласно второму закону Ньютона, запишем выражение для результирующей силы  $F_{рез}$ , действующей в системе [3]:

$$F_{рез} = ky_{max} - mg = ma_{max} \quad (5)$$

Согласно формуле (5), максимальное ускорение груза  $a_{max}$  равно  $11,35 \text{ м/с}^2$ . Теперь, зная ускорение  $a_{max}$ , рассчитаем силу натяжения нити  $T_p$  во время рывка ( $T_p = ma_{max} = 1,14 \text{ Н}$ ) и сравним полученное значение с силой натяжения нити в статическом состоянии:  $T_p/mg = 1,16$ .

С другой стороны, сущность явления рывка (как и удара) состоит в том, что за очень малое время происходит конечное изменение импульса груза  $mv_0$ . При рывке импульс силы равен изменению импульса груза:

$$T_p \cdot t_p = 2mv_0, \quad (6)$$

где  $t_p$  – время рывка.

Предположим, что рывок заканчивается, когда растяжение нити  $\Delta y = 0$ , т.е. за время рывка  $t_p$  груз опускается и поднимается вверх на  $\Delta y$  с постоянным ускорением  $a_{max}$ . Уравнение движения груза вниз запишем в следующем виде:

$$\Delta y = v_0 t_p + \frac{a_{max} t_p^2}{2} \quad (7)$$

$$t_p^2 + \frac{2v_0}{a_{max}} t_p - 2 \frac{\Delta y}{a_{max}} = 0 \quad (8)$$

Решив уравнение (8), вычислим время рывка при движении груза вниз  $t_p = 6 \cdot 10^{-2}$  с. При этом, на груз действовала сила, равная только половине силы рывка  $T_p$ , а изменение импульса груза равно  $mv_0$ .

$$\frac{1}{2} T_p \cdot t_p = mv_0, \quad (9)$$

Согласно формуле (9), сила натяжения нити при рывке  $T_p$  составляет 1,22 Н. Сравнивая полученное значение с силой натяжения нити в статическом состоянии, получаем:  $T_p/mg = 1,24$ .

Таким образом, значение силы натяжения нити во время рывка  $T_p$  превышает значение силы тяготения  $mg$  на 15–25 %. Этот факт существен и должен учитываться при решении задач на ускоренное движение системы «груз–нить», даже если она состоит из груза малой массы и короткой нити.

## Литература

1. Путилов, К. А. Курс физики : в 3 т. / К. А. Путилов. – М. : ГИ ФМЛ, 1963. – Т. 1 : Механика. Акустика. Молекулярная физика. Термодинамика. – 560 с.
2. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : в 3-х т. / Д. В. Сивухин. – М. : Издательство Наука, 1979. – Т. 1 : Механика. – 520 с.
3. Орир, Дж. Физика : в 2 т. / Дж. Орир. – М.: Мир, 1981. – Т. 1. – 366 с.

**Д. Ч. Гвоздовский**  
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **В. Р. Стемпицкий**, канд. техн. наук, доцент

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВУМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ: *AB INITIO* МОДЕЛИРОВАНИЕ

Растущий интерес к применению 2D-материалов в фотонике и оптоэлектронике вызван многочисленными применениями подобных монослойных материалов, начиная от солнечных элементов и световых излучающих устройств и заканчивая сенсорными экранами, фотодетекторами и сверхбыстрыми лазерами. Это стало возможным благодаря исследованию двумерных материалов с использованием спектроскопических методов совместно с теоретическими расчетами.

Отклик материала на воздействие электрического поля световой волны можно определить его комплексной диэлектрической проницаемостью.

На примере графена показан механизм расчета оптических свойств с применением *ab initio* методов моделирования. Расчеты оптических свойств исследуемых материалов проведены с использованием методов теории функционала плотности (DFT), реализованных в

программном комплексе VASP [1, 2]. Электрон-ионное взаимодействие описывалось с помощью метода проекционной расширенной волны (PAW), а обменная и корреляционная энергии (XC) учитывались при использовании функционала GGA в виде псевдопотенциала Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE) [3]. Ван-дер-Ваальсово взаимодействие (vdW) между атомами учитывается при использовании полуэмпирической схемы коррекции дисперсии Грина с поправками Беке и Джонсона (BJ-затухание).

Частотно-зависимые оптические свойства, включая комплексную диэлектрическую проницаемость, рассчитаны в рамках приближения независимых частиц (Independent Particle Approximation – IPA) и приближения случайных фаз (Random Phase Approximation – RPA).

На первом этапе проводится «стандартный» расчет DFT для определения основного состояния системы. Сразу после определения основного электронного состояния материала в программе VASP рассчитывается частотно-зависимая диэлектрическая матрица.

На втором этапе для проведения IPA расчетов требуется WAVECAR-файл, созданный в процессе выполнения первого этапа. На основании «стандартного» расчета вычисляются дополнительные «виртуальные» орбитали (пустые состояния), число которых задается тэгом NBANDS. На этом шаге необходимо установить параметр «LOPTICS=.TRUE.» в входной файл INCAR для того, чтобы VASP вычислил производные орбиталей относительно волнового вектора Блоха (численные значения производных хранятся в файле WAVEDER). Они необходимы для корректного описания длинноволнового предела диэлектрического экранирования.

На третьем этапе, на основании данных, полученных в рамках IPA подхода, выполняется моделирование комплексной диэлектрической проницаемости в рамках RPA подхода. На данном этапе оцениваются оптические свойства материала с использованием  $G_0W_0$  подхода (включая только эффекты электрон-электронной корреляции) и подхода  $G_0W_0$  на основании уравнения Бете-Солпитера ( $G_0W_0 + BSE$ ) с учетом эффектов как электрон-электронной, так электронно-дырочной корреляций.

Проведена настройка основных входных параметров, необходимых для проведения расчетов оптических свойств графена.

Для правильной работы методов DFT, в которых используется параметр LOPTICS=.TRUE., требуется большое количество пустых состояний в зоне проводимости. С этой целью проведена настройка модели по входному параметру NBANDS и определены оптимальные

его значения. Установлено, что параметр NBANDS = 40 для графена равен примерно утроенному значению по умолчанию.

Численное значение энергии обрезания ENCUT оказывает сильное влияние на структурные и электронные свойства исследуемого материала при моделировании основного состояния системы. Установлено, что при ENCUT = 400 эВ характер закона дисперсии диэлектрической проницаемости не изменяется. Дальнейшее увеличение параметра ENCUT приводит лишь к дополнительной нагрузке на расчётное оборудование и увеличению времени расчета. Количество точек сетки частот NEDOS = 2000.

Для предотвращения взаимодействия между соседними периодическими монослоями материала использовался вакуумный слой 15 Å в кристаллографическом направлении C.

Наиболее значимыми и энергозатратными оказались параметры входного файла KPOINTS, в котором указываются схема построения сетки и число k-точек в расчетной сетке. Интегрирование в импульсном пространстве первой зоны Бриллюэна материала выполнялось по k-точечной сетке размером  $N \times N \times 1$ , реализованная по схеме Монкхорста-Пака (MP).

Установлено, что при k-точечной сетке размером  $75 \times 75 \times 1$  закон дисперсии диэлектрической проницаемости находится в допустимых пределах. При выбранной k-сетке соблюдается баланс между затраченным временем на проведение моделирования, мощностями расчётного оборудования и точностью получаемых численных значений диэлектрической проницаемости для графена.

Определены частотно-зависимые оптические свойства графена (комплексная диэлектрическая проницаемость) *ab initio* методами в рамках приближения независимых частиц IPА. Результаты расчетов комплексной диэлектрической проницаемости графена хорошо согласуются с теоретическими расчетами авторов [4, 5].

Для более точного анализа диэлектрической проницаемости двумерных материалов необходимо проведение дополнительных расчетов с использованием подхода  $G_0W_0$  и уравнения Бете-Солпитера ( $G_0W_0 + BSE$ ). Данный подход позволяет проводить расчеты с учетом эффектов как электрон-электронной, так электронно-дырочной корреляций.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке гранта 3.02.3 в рамках ГПНИ «Конвергенция – 2025» и гранта БРФФИ для молодых ученых «Наука М – 2021» (договор № Ф21М–122).

## Литература

1. Kresse, G. Efficient iterative schemes for ab initio total-energy calculations using a plane-wave basis set / G. Kresse, J. Furthmüller // Physical review B. – 1996. – Т. 54, Iss. 16. – PP. 11169.
2. Kresse, G. Efficiency of ab-initio total energy calculations for metals and semiconductors using a plane-wave basis set / G. Kresse, J. Furthmüller // Computational materials science. – 1996. – Т. 6, Iss. 1. – PP. 15–50.
3. Medvedev, M. G. et al. Density functional theory is straying from the path toward the exact functional / M. G. Medvedev [et al.] // Science. – 2017. – Т. 355, Iss. 6320. – PP. 49–52.
4. Matthes, L. Optical properties of two-dimensional honeycomb crystals graphene, silicene, germanene, and tinene from first principles / L. Matthes, O. Pulci, F. Bechstedt // New Journal of Physics. – 2014. – Vol. 16, Iss.10. – PP. 105007.
5. Rani, P. DFT study of optical properties of pure and doped graphene / P. Rani, G. S. Dubey, V. K. Jindal // Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures. – 2014. – Vol. 62. – PP. 28–35.

**Е. Д. Головин**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. Н. Капшай**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **ГЕНЕРАЦИЯ СУММАРНОЙ ЧАСТОТЫ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЫ БОЛЬШОЙ ВЫСОТЫ. ПРИБЛИЖЕНИЕ ВКБ**

**Введение.** Генерация излучения суммарной частоты (ГСЧ) относится к нелинейным оптическим явлениям второго порядка и наблюдается в поверхностных слоях малых centrosymmetric частиц. Это явление используется для исследования физических и химических процессов, происходящих на поверхности таких частиц. Одной из моделей, описывающей ГСЧ, является модель Вентцеля–Крамерса–Бриллюэна (ВКБ), которая учитывает рассеяние на границе раздела частицы и среды.

**Постановка задачи.** В данной работе с использованием приближения ВКБ теоретически получим формулу для вычисления напряжённости поля суммарной частоты, генерируемого в нелинейном

сферическом слое. Пусть на цилиндрическую диэлектрическую частицу с радиусом основания  $a$  и высотой  $h$  ( $a \ll h$ ), покрытую нелинейным слоем толщиной  $d_0$ , падает две плоские электромагнитные волны с циклическими частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$  и волновыми векторами  $\mathbf{k}^{(1)}$  и  $\mathbf{k}^{(2)}$ . Отношение показателя преломления частицы к показателю преломления среды на частоте  $\omega_1$  обозначим  $\eta_1$ , на частоте  $\omega_2$  –  $\eta_2$ .

В данной задаче генерацией излучения от торцевых поверхностей частицы можно пренебречь, поэтому будем рассматривать генерацию в слоях на боковой поверхности частицы. Найдём выражения для векторов электрической напряжённости обеих волн, падающих на поверхность сферической частицы, с учётом сдвига фазы. Номера рассматриваемых падающих волн будем обозначать буквой  $j$  ( $j$  принимает значения 1 и 2).

Рассмотрим произвольный луч падающей электромагнитной волны с циклической частотой  $\omega_j$  и волновым вектором  $\mathbf{k}^{(j)}$ , лежащий в плоскости  $xOy$ , и проходящий через поверхность частицы в точках  $A$  и  $B$  (рисунок 1,  $a$ ). При рассмотрении траектории луча  $AB$  не будем учитывать преломление электромагнитных волн на границах раздела сред [1]. Тогда фазы в точках  $A$  и  $B$  соответственно равны  $\varphi_{lat,A}^{(j)}(\mathbf{x}'_A) = \mathbf{k}^{(j)} \mathbf{x}'_A$  и  $\varphi_{lat,B}^{(j)}(\mathbf{x}'_B) = \mathbf{k}^{(j)} \mathbf{x}'_B + \Delta\varphi_{lat}^{(j)}$ , соответственно, где  $\Delta\varphi_{lat}^{(j)}$  – сдвиг фазы, вызванный прохождением волны через среду с показателем преломления, отличным от показателя преломления окружающей среды. Рассматривая наклонное сечение в форме эллипса и его проекцию на плоскость, перпендикулярную оси симметрии частицы, запишем выражения для сдвига фаз и фазы в точке  $B$ :

$$\Delta\varphi_{lat}^{(j)}(\mathbf{x}'_B) = 2(\eta_j - 1) \mathbf{k}_{\rho}^{(j)} \mathbf{x}'_B \left( \frac{|\mathbf{k}^{(j)}|}{|\mathbf{k}_{\rho}^{(j)}|} \right)^2, \quad (1)$$

$$\varphi_{lat,B}^{(j)}(\mathbf{x}'_B) = \mathbf{k}^{(j)} \mathbf{x}'_B + 2(\eta_j - 1) \mathbf{k}_{\rho}^{(j)} \mathbf{x}'_B \left( \frac{|\mathbf{k}^{(j)}|}{|\mathbf{k}_{\rho}^{(j)}|} \right)^2. \quad (2)$$

Далее подберём такое обобщающее выражение для фазы, чтобы её значение в точке  $A$  было равно  $\varphi_A^{(j)}$ , а в точке  $B$  –  $\varphi_B^{(j)}$ :

$$\varphi_{lat}^{(j)}(\mathbf{x}') = \mathbf{k}^{(j)} \mathbf{x}' + (\eta_j - 1) (\mathbf{k}_{\rho}^{(j)} \mathbf{x}' + |\mathbf{k}_{\rho}^{(j)} \mathbf{x}'|) \left( \frac{|\mathbf{k}^{(j)}|}{|\mathbf{k}_{\rho}^{(j)}|} \right)^2. \quad (3)$$

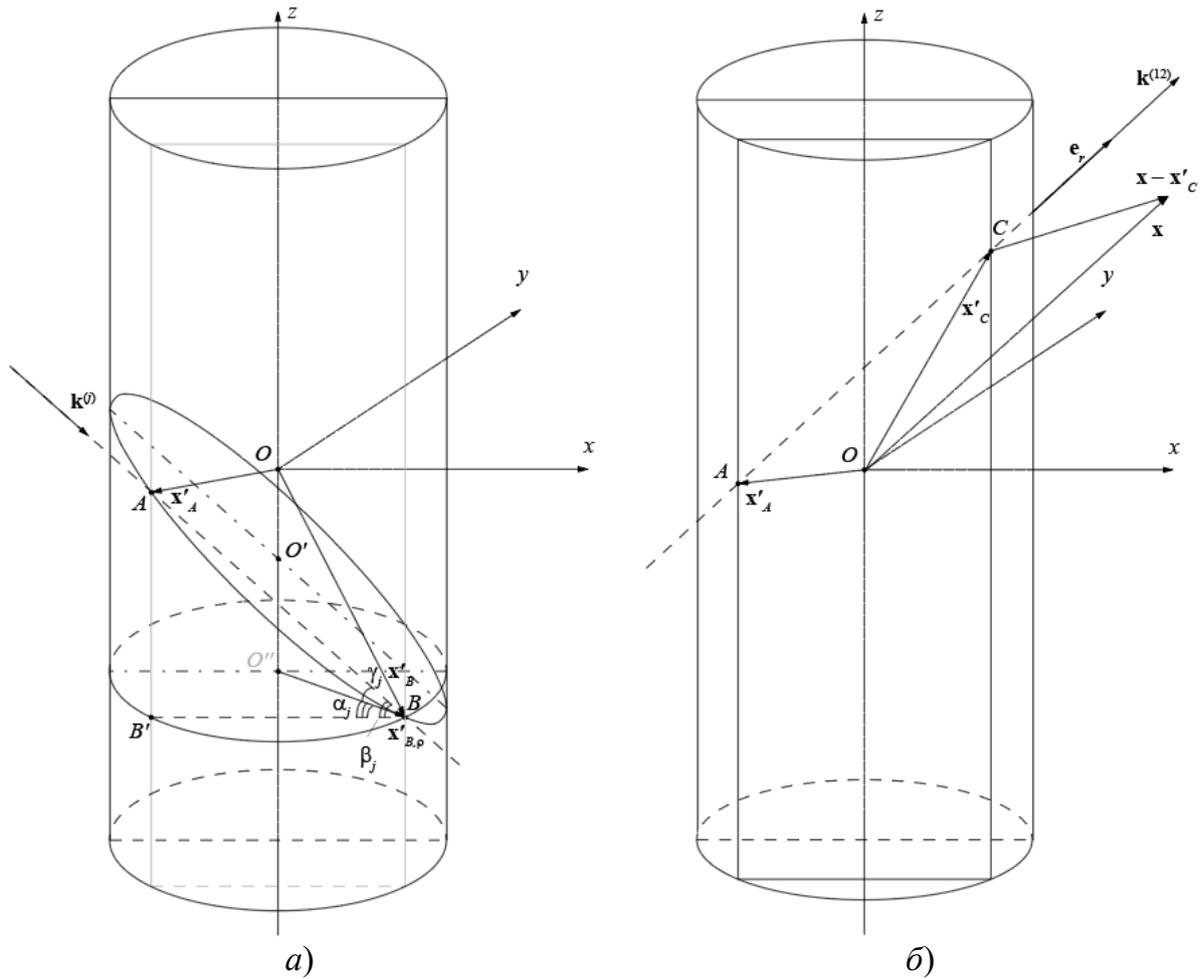


Рисунок 1 – Схемы распространения волн через боковую поверхность цилиндрической частицы: а) волновой вектор падающей волны; б) волновой вектор генерируемой волны

Определим фазу генерируемой волны. Пусть в поверхностном слое частицы генерируется волна, волновой вектор которой параллелен вектору  $\mathbf{e}_r$ . Единичный вектор  $\mathbf{e}_r$  является встречным к направлению наблюдения, производящемуся из дальней зоны (рисунок 1, б).

Фаза волны, пришедшей из точки  $C$  к наблюдателю, находящемуся в дальней зоне, равна  $\varphi_{lat,C}^{(12)}(\mathbf{x}, \mathbf{x}'_C) = k_{12} |\mathbf{x} - \mathbf{x}'_C|$ , где  $k_{12}$  – модуль волнового вектора  $\mathbf{k}^{(12)}$  генерируемой волны. Фаза генерируемой волны, пришедшей к наблюдателю из точки  $A$ , равна  $\varphi_{lat,A}^{(12)}(\mathbf{x}, \mathbf{x}'_A) = k_{12} |\mathbf{x} - \mathbf{x}'_A| + \Delta\varphi_{lat}^{(12)}$ . Здесь  $\mathbf{x}$  – вектор, определяющий положение наблюдателя относительно начала координат, а векторами  $\mathbf{x}'_C$  и  $\mathbf{x}'_A$  определено положение элементов поверхности цилиндрической частицы (точек  $C$  и  $A$  соответственно) относительно начала координат. Аналогично предыдущим рассуждениям, запишем выражения для сдвига фазы и фазы в точке  $A$  для генерируемой волны:

$$\Delta\varphi_{lat}^{(12)}(\mathbf{x}'_A) = -2(\eta_{12} - 1)\mathbf{k}_\rho^{(12)}\mathbf{x}'_A \left( \frac{|\mathbf{k}^{(12)}|}{|\mathbf{k}_\rho^{(12)}|} \right)^2, \quad (4)$$

$$\varphi_{lat,A}^{(12)}(\mathbf{x}, \mathbf{x}'_A) = k_{12}|\mathbf{x} - \mathbf{x}'_A| - 2(\eta_{12} - 1)\mathbf{k}_\rho^{(12)}\mathbf{x}'_A \left( \frac{|\mathbf{k}^{(12)}|}{|\mathbf{k}_\rho^{(12)}|} \right)^2. \quad (5)$$

Так как скалярное произведение  $\mathbf{k}_\rho^{(12)}\mathbf{x}'_A$  отрицательное, а сдвиг фазы должен быть положительным, в выражении присутствует знак минус. Аналогично предыдущим рассуждениям, объединим полученные выражение для фаз в точках  $C$  и  $A$  и воспользуемся приближением дальней зоны [2]:

$$\varphi_{lat}^{(12)}(\mathbf{x}, \mathbf{x}') = k_{12}|\mathbf{x} - \mathbf{x}'| + (\eta_{12} - 1)(-\mathbf{k}_\rho^{(12)}\mathbf{x}' + |\mathbf{k}_\rho^{(12)}\mathbf{x}'|) \left( \frac{|\mathbf{k}^{(12)}|}{|\mathbf{k}_\rho^{(12)}|} \right)^2. \quad (6)$$

**2 Выражения для вектора напряжённости электрического поля суммарной частоты.** Для определения напряжённости электрического поля генерируемой волны запишем выражения для напряжённостей падающих электромагнитных волн, с учётом (3):

$$\mathbf{E}_{lat}^{(j)}(\mathbf{x}') = \frac{2}{\eta_j + 1} \mathbf{e}^{(j)} E_j \exp \left( i\mathbf{k}^{(j)}\mathbf{x}' + i(\eta_j - 1)(\mathbf{k}_\rho^{(j)}\mathbf{x}' + |\mathbf{k}_\rho^{(j)}\mathbf{x}'|) \left( \frac{|\mathbf{k}^{(j)}|}{|\mathbf{k}_\rho^{(j)}|} \right)^2 \right), \quad (7)$$

где  $j$  принимает значения 1 и 2. Для удобства в (7) опущена временная часть.

Причиной генерации суммарной частоты в дипольной модели является наличие нелинейной части поляризации [3]. Учитывая (6) и (7), запишем выражение для компонент вектора напряжённости электрического поля генерируемого излучения:

$$E_{lat,i}^{(12)}(\mathbf{x}) = 2\pi\mu_{12} \frac{\omega_{12}^2 \exp(ik_{12}r)}{c^2 r} ad_0 h E_1 E_2 (\delta_{im} - e_{r,i} e_{r,m}) X_{lat,mjk}^{(2)} e_j^{(1)} e_k^{(2)}. \quad (8)$$

Здесь  $X_{lat,mjk}^{(12)}$  – эффективная восприимчивость, которая определяется по формуле

$$X_{lat,mjk}^{(12)} = \frac{1}{2\pi h} \left( \frac{2}{\eta_1 + 1} \right) \left( \frac{2}{\eta_2 + 1} \right) \frac{\sin(q_z h / 2)}{q_z h / 2} \int_{2\pi} \exp[i\Phi_{lat}(\mathbf{n})] \chi_{mjk}^{(2)}(\mathbf{n}) d\varphi', \quad (9)$$

где  $\Phi_{lat}(\mathbf{n})$  определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} \Phi_{lat}(\mathbf{n}) = & a\mathbf{q}_\rho \mathbf{n} + a(\eta_{12} - 1)(-\mathbf{k}_\rho^{(12)} \mathbf{n} + |\mathbf{k}_\rho^{(12)} \mathbf{n}|) \left( \frac{|\mathbf{k}^{(12)}|}{|\mathbf{k}_\rho^{(12)}|} \right)^2 + \\ & + a(\eta_1 - 1)(\mathbf{k}_\rho^{(1)} \mathbf{n} + |\mathbf{k}_\rho^{(1)} \mathbf{n}|) \left( \frac{|\mathbf{k}^{(1)}|}{|\mathbf{k}_\rho^{(1)}|} \right)^2 + a(\eta_2 - 1)(\mathbf{k}_\rho^{(2)} \mathbf{n} + |\mathbf{k}_\rho^{(2)} \mathbf{n}|) \left( \frac{|\mathbf{k}^{(2)}|}{|\mathbf{k}_\rho^{(2)}|} \right)^2. \end{aligned} \quad (10)$$

**Заключение.** В работе предложена модель генерации суммарной частоты в поверхностном слое диэлектрической сферической частицы с использованием приближения ВКБ. На основе описанной модели с использованием численного интегрирования можно определить напряжённость электрического поля генерируемого излучения и использовать полученные результаты при планировании экспериментального исследования генерации суммарной частоты в поверхностном слое диэлектрических частиц цилиндрической формы.

## Литература

1. Size dependence of second-harmonic generation at the surface of microspheres / S. Viarbitskaya [et al.] // *Physical Review A*. – 2010. – Vol. 81, Iss. 5. – P. 053850.
2. Шамына, А. А. Генерация суммарной частоты от тонкого сферического слоя. I. Аналитическое решение / А. А. Шамына, В. Н. Капшай // *Оптика и спектроскопия*. – 2018. – Т. 124, № 6. – С. 795–803.
3. Шамына, А. А. Генерация суммарной частоты от тонкого сферического слоя. II. Анализ решения / А. А. Шамына, В. Н. Капшай // *Оптика и спектроскопия*. – 2018. – Т. 125, № 1. – С. 71–78.

**И. С. Грибовский**  
 (ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)  
 Науч. рук. С. А. Лукашевич, ст. преподаватель

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Цель работы заключается в разработке программы для изучения поведения частицы в электромагнитном поле. Программа предоставляет интерфейс, с помощью которого можно настраивать значения модели. После нажатия кнопки «Построить графики» программа моделирует поведение частицы в виде графиков зависимости координат от времени, скорости от времени и траекторий частицы в трех плоскостях.

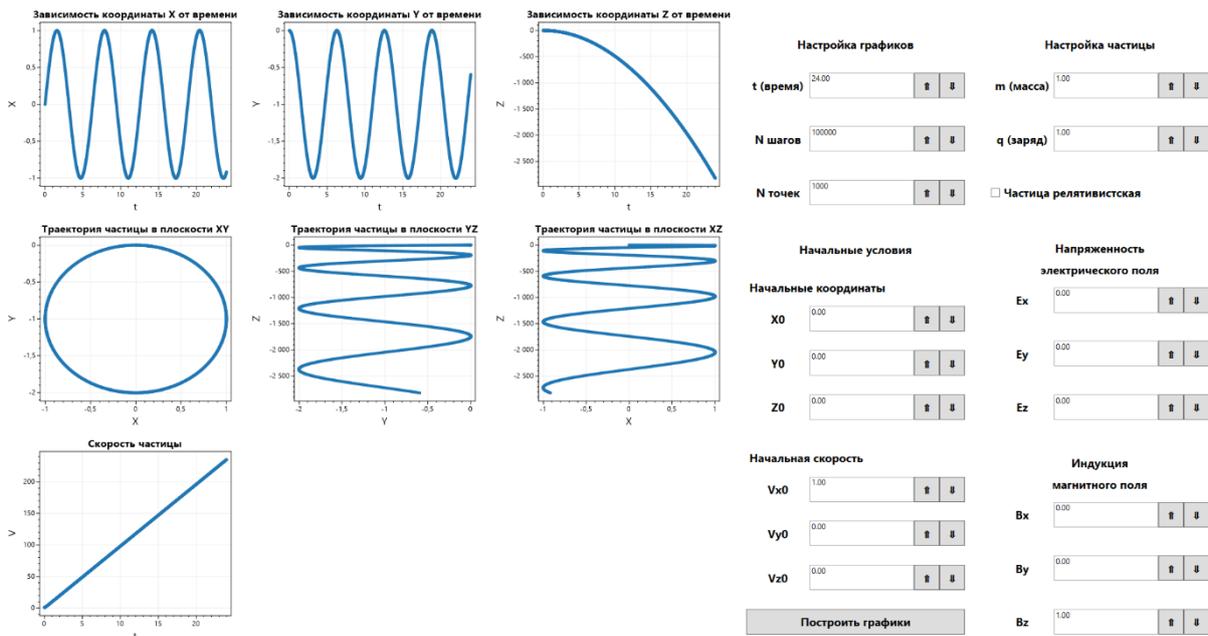


Рисунок 1 – Интерфейс программы

Для моделирования движения частиц в электромагнитном поле необходимо получить, а затем решить уравнение движения частицы.

Сила, действующая на частицу с зарядом  $q$  в электромагнитном поле с магнитной индукцией  $\vec{B}$  и напряженностью  $\vec{E}$ , будет равна:

$$\vec{F} = q[\vec{V} \times \vec{B}] + q\vec{E}. \quad (1)$$

А с учетом силы тяжести:

$$m\vec{r} = q[\vec{V} \times \vec{B}] + QE_0 + m\vec{g}. \quad (2)$$

Распишем уравнение (2) на оси координат:

$$\begin{aligned} Ox: ma_x &= q(V_y B_z - V_z B_y + E_0), \\ Oy: ma_y &= q(V_z B_x - V_x B_z), \\ Oz: ma_z &= q(V_x B_y - V_y B_x) - mg. \end{aligned} \quad (3)$$

Выразим ускорение разделив систему уравнений (3) на массу  $m$ :

$$\begin{aligned} Ox: a_x &= \frac{q(V_y B_z - V_z B_y + E_0)}{m}, \\ Oy: a_y &= \frac{q(V_z B_x - V_x B_z)}{m}, \\ Oz: a_z &= \frac{q(V_x B_y - V_y B_x)}{m} - g. \end{aligned} \quad (4)$$

Если частица релятивистская, то система будет выглядеть по-другому:

$$\begin{aligned} Ox: a_x &= \frac{q(V_y B_z - V_z B_y)}{m} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}, \\ Oy: a_y &= \frac{q(V_z B_x - V_x B_z)}{m} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}, \\ Oz: a_z &= \left(\frac{q(V_x B_y - V_y B_x)}{m} - g\right) \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}, \end{aligned} \quad (5)$$

где модуль скорости:  $|\vec{v}| = \sqrt{(V_x^2 + V_y^2 + V_z^2)}$ .

Решив систему уравнений (4) или (5), можно полностью описать поведение частицы в этом электромагнитном поле. В программе решение системы реализуется с помощью метода Эйлера, представленного в функции Resolve (рисунок 2).

```

public OdeResults Resolve(Func<Vector, Vector, Vector> func, Vector r0, Vector v0, double tMax, int N)
{
    double dt = tMax / N;
    OdeResults odeResults = new OdeResults(N + 1);
    odeResults.R[0] = r0;
    odeResults.V[0] = v0;
    for (int i = 1; i < N + 1; i++)
    {
        Vector a = func(odeResults.R[i - 1], odeResults.V[i - 1]);
        odeResults.V[i] = odeResults.V[i - 1] + (dt * a);
        odeResults.R[i] = odeResults.R[i - 1] + (dt * odeResults.V[i]);
    }
    return odeResults;
}

```

Рисунок 2 – Код функции Resolve, которая реализует метод Эйлера для решения системы дифференциальных уравнений

Функция принимает в качестве параметров систему дифференциальных уравнений  $func$ , начальные координаты частицы  $r_0$ , начальную скорость частицы  $v_0$ , время  $tMax$  и количество шагов  $N$ .

Результатом работы функции являются массивы координат и скоростей частицы на каждом из  $N$  шагов за  $tMax$  времени.

**А. А. Гришечкина**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. Н. Капшай**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## НАХОЖДЕНИЕ ЯВНОГО ВИДА ФУНКЦИЙ ГРИНА В РЕЛЯТИВИСТСКОМ КОНФИГУРАЦИОННОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ ДЛЯ $d$ -СОСТОЯНИЙ

Для описания состояний рассеяния релятивистских систем двух частиц одинаковой массы  $m$  используются уравнения, функции Грина (ФГ) которых в импульсном представлении имеют вид:

$$G_{(1)}(E_q, k) = \left( (2E_k - 2E_q - i0) E_k \right)^{-1}; G_{(2)}(E_q, k) = m / \left( (E_k^2 - E_q^2 - i0) E_k \right);$$

$$G_{(3)}(E_q, k) = \left( E_k^2 - E_q^2 - i0 \right)^{-1}; G_{(4)}(E_q, k) = m / \left( (2E_k - 2E_q - i0) E_k^2 \right), \quad (1)$$

где индекс  $j$  определяет вид уравнения: ( $j=1$ )  $j=4$  – (модифицированное) уравнение Кадышевского, ( $j=3$ )  $j=2$  – (модифицированное) уравнение Логунова-Тавхелидзе,  $E_k = \sqrt{m^2 + k^2}$ ,  $k$  – импульс.

Указанные уравнения могут быть сформулированы в релятивистском конфигурационном представлении (РКП) в интегральной форме. Функции Грина для этих уравнений в случае  $S$ - и  $p$ -состояний были найдены ранее [1, 2]. Для  $d$ -состояний выразим ФГ в РКП как:

$$G_{2(j)}(\chi_q, r, r') = -2/\pi \int_0^\infty s_2(\chi_k, r) G_{(j)}(m \operatorname{ch} \chi_q, m \operatorname{sh} \chi_k) s_2^*(\chi_k, r') E_k d\chi_k, \quad (2)$$

где  $\chi_k$  – быстрота, связанная с импульсом  $k$  выражением  $k = m \operatorname{sh} \chi_k$ ,  $r \geq 0$  – релятивистская координата, функция  $s_2(\chi_k, r)$  имеет вид:

$$s_2(\chi_k, r) = \frac{(1 + m^2 r^2) \sin \chi_k m r + 3 m r \operatorname{cth} \chi_k \cos \chi_k m r - 3 \operatorname{cth}^2 \chi_k \sin \chi_k m r}{(1 - i m r)(2 - i m r)}. \quad (3)$$

Рассмотрим нахождение явного вида ФГ в случае  $j=1$ . После подстановки (1) и (3) в (2) представим функцию  $G_{2(1)}(\chi_q, r, r')$  в виде:

$$G_{2(1)}(\chi_q, r, r') = \frac{-\left(g_{2(1)}^{(-)}(\chi_q, r, r') + g_{2(1)}^{(+)}(\chi_q, r, r')\right)}{2\pi(mr' - i)(mr' - 2i)(mr + i)(mr' + 2i)},$$

где введено обозначение

$$\begin{aligned} g_{2(1)}^{(\pm)}(\chi_q, r, r') = & \mp \left(1/m + m(r^2 + r'^2 + m^2 r^2 r'^2)\right) I_0(r \pm r') \pm \quad (4) \\ & \pm 3(r \pm r')(1 \pm m^2 r r') I_1(r \pm r') \pm \left(6/m + 3m(r'^2 \pm 3r r' + r^2)\right) I_2(r \pm r') \mp \\ & \mp 9(r \pm r') I_3(r \pm r') \mp 9/m I_4(r \pm r'). \end{aligned}$$

Величины  $I_n(\rho)$  в выражении (4) определяются по формуле

$$I_n(\rho) = \begin{cases} \int_0^\infty \left( \frac{\operatorname{ch} \chi_k}{\operatorname{sh}(\chi_k + i\gamma)} \right)^n \frac{\cos \chi_k m r}{\operatorname{ch} \chi_k - \operatorname{ch}(\chi_q + i\varepsilon)} d\chi_k, & n = 0, 2, 4; \\ \int_0^\infty \left( \frac{\operatorname{ch} \chi_k}{\operatorname{sh}(\chi_k + i\gamma)} \right)^n \frac{\sin \chi_k m r}{\operatorname{ch} \chi_k - \operatorname{ch}(\chi_q + i\varepsilon)} d\chi_k, & n = 1, 3. \end{cases} \quad (5)$$

В (5) бесконечно малая вещественная величина  $\gamma$  введена для сдвига особых точек подынтегральных функций с вещественной оси в комплексную плоскость. Полученные таким образом особые точки являются устранимыми, поэтому знак  $\gamma$  может быть произвольным.

Интегралы  $I_0(\rho)$ ,  $I_1(\rho)$  и  $I_2(\rho)$  вычислены нами в работе [2]. Для нахождения интегралов  $I_3(\rho)$  и  $I_4(\rho)$  мы применили метод, использованный в работе [2]. Результат вычисления имеет форму

$$I_3(\rho) = \frac{\pi}{4 \operatorname{sh}(\pi m \rho)} \left[ 4 \operatorname{cth}^3 \chi_q \operatorname{sh}^{-1} \chi_q \operatorname{ch}((i\chi_q + \pi)m\rho) + \frac{\operatorname{ch}(\pi m \rho)}{(1 - \operatorname{ch} \chi_q)} \times \right. \\ \left. \times \left( 2 - m^2 \rho^2 - (1 - \operatorname{ch} \chi_q)^{-1} \right) - (1 + \operatorname{ch} \chi_q)^{-1} \left( 2 - m^2 \rho^2 - (1 + \operatorname{ch} \chi_q)^{-1} \right) \right], \\ I_4(\rho) = \frac{i\pi}{12 \operatorname{sh}(\pi m \rho)} \left[ 12 \frac{\operatorname{ch}^4 \chi_q}{\operatorname{sh}^5 \chi_q} \operatorname{sh}((i\chi_q + \pi)m\rho) + \frac{i m \rho \operatorname{ch}(\pi m \rho)}{(1 - \operatorname{ch} \chi_q)} \times \right. \\ \left. \times \left( 8 - m^2 \rho^2 - 3(1 - \operatorname{ch} \chi_q)^{-1} \right) - i m \rho (1 + \operatorname{ch} \chi_q)^{-1} \left( 8 - m^2 \rho^2 - 3(1 + \operatorname{ch} \chi_q)^{-1} \right) \right].$$

Функции Грина всех четырех уравнений имеют достаточно громоздкий вид, поэтому приведем только первую из них:

$$G_{2(1)} = \frac{(m \operatorname{sh} \chi_q)^{-1}}{2i} \cdot \frac{G_{2(1)}^{(-)}(\chi_q, r, r') + G_{2(1)}^{(+)}(\chi_q, r, r')}{(mr' - i)(mr' - 2i)(mr + i)(mr + 2i)}, \quad (6) \\ G_{2(1)}^{(\pm)}(\chi_q, r, r') = \operatorname{sh}^{-1}(\pi m(r \pm r')) \left[ \mp m^2 (r^2 + r'^2 + (mrr')^2) \operatorname{sh}((i\chi_q + \pi)m(r \pm r')) \times \right. \\ \left. \times m(r \pm r') \right] \mp 3im(r \pm r')(1 \pm m^2 rr') \operatorname{cth} \chi_q \operatorname{ch}((i\chi_q + \pi)m(r \pm r')) \pm \\ \pm 3m^2 (r^2 \pm 3rr' + r'^2) \operatorname{cth}^2 \chi_q \operatorname{sh}((i\chi_q + \pi)m(r \pm r')) \pm 9im(r \pm r') \operatorname{cth}^3 \chi_q \times$$

$$\times \text{ch}\left(\left(i\chi_q + \pi\right)m\left(r \pm r'\right)\right) \mp \left(1 - 3\text{cth}^2 \chi_q\right)^2 \text{sh}\left(\left(i\chi_q + \pi\right)m\left(r \pm r'\right)\right) \Big].$$

Проанализируем полученные ФГ при помощи графиков зависимости их действительной и мнимой частей от  $r$ , рассчитанных при  $\chi_q = 1$ ,  $r' = 1$  и  $m = 1$  (рисунок 1 – 2).

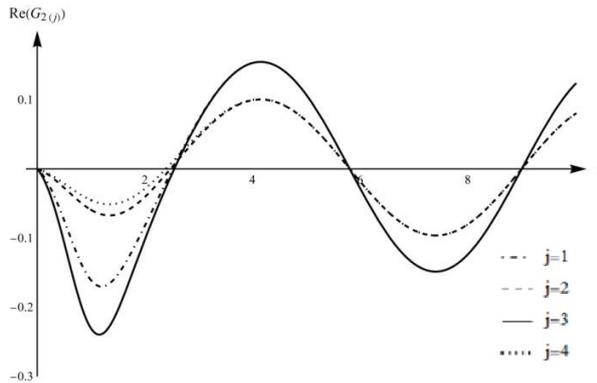


Рисунок 1 – Зависимость действительной части функций Грина (6) от координаты  $r$

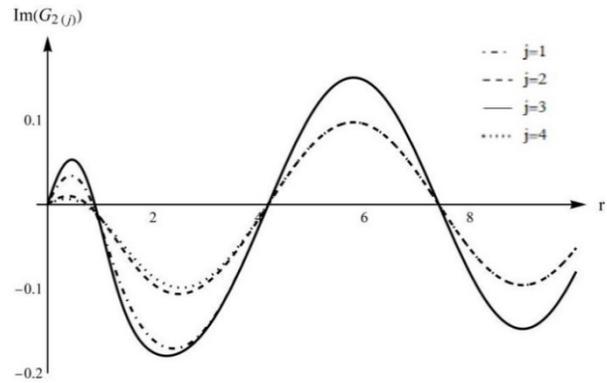


Рисунок 2 – Зависимость мнимой части функций Грина (6) от координаты  $r$

Таким образом, в данной работе приведен результат вычисления парциальных функций Грина в релятивистском конфигурационном представлении для  $d$ -состояний.

## Литература

1. Капшай, В. Н. Разложение по матричным элементам УНП группы Лоренца и интегральные уравнения для релятивистских волновых функций / В. Н. Капшай, Т. А. Алфёрова // Ковариантные методы в теоретической физике: сб. ст. // Ин-т физики НАН Беларуси. – Минск, 1997. – Вып. 4. – С. 88–95.

2. Капшай, В. Н. Релятивистские парциальные функции Грина состояний рассеяния, характеризующихся орбитальным квантовым числом  $l = 1$  / В. Н. Капшай, А. А. Гришечкина // Проблемы физики, математики и техники. – 2021. – № 3 (48). – С. 7–13.

А. Д. Жуковец

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. В. Н. Капшай, канд. физ.-мат. наук, доцент

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРОХОЖДЕНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ ДЛЯ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА В СЛУЧАЕ ОТ $-a$ ДО $a$

В классической механике прохождение частицы через потенциальный барьер возможно только в том случае, если ее полная энергия  $E$  не меньше высоты  $U_0$  потенциального барьера. В квантовой механике движение частицы носит вероятностный характер, поэтому ее прохождение через потенциальный барьер описывают коэффициентами отражения  $R$  (нахождение в области пространства I с изменением направления движения на противоположное) и прохождения  $D$  (переход в область III) (рисунок 1).

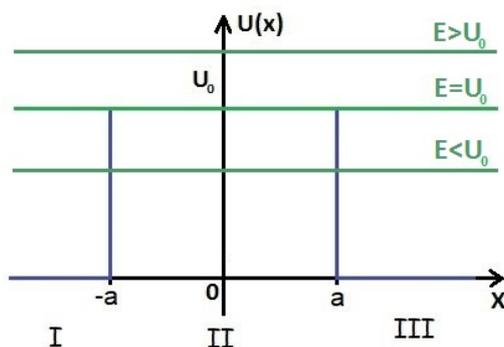


Рисунок 1 – График потенциального барьера при  $E > U_0$ ,  $E = U_0$ ,  $E < U_0$

Для начала разберем случай с  $E > U_0$  (рисунок 1). Запишем одномерное уравнение Шредингера для каждой из областей [1]:

$$\begin{aligned} -\frac{\hbar^2}{2m}\Psi_I''(x) &= E\Psi_I(x), & x < -a, \\ -\frac{\hbar^2}{2m}\Psi_{II}''(x) + U_0(x)\Psi_{II}(x) &= E\Psi_{II}(x), & -a < x < a, \\ -\frac{\hbar^2}{2m}\Psi_{III}''(x) &= E\Psi_{III}(x), & x > a. \end{aligned} \quad (1)$$

Используем условия сшивания:

$$\begin{cases} \Psi_I(-a) = \Psi_{II}(-a), \\ \Psi_I'(-a) = \Psi_{II}'(-a), \end{cases} \quad \begin{cases} \Psi_{II}(a) = \Psi_{III}(a), \\ \Psi_{II}'(a) = \Psi_{III}'(a). \end{cases} \quad (2)$$

Упростим выражения (1), умножив их на  $-\frac{2m}{\hbar^2}$  и введя замены:

$$\frac{2mE}{\hbar^2} = k^2, \quad \frac{2m}{\hbar^2}(U_0 - E) = K^2,$$

тогда:  $\Psi_I''(x) = -k^2\Psi_I(x)$ ,  $\Psi_{II}''(x) = -K^2\Psi_{II}(x)$ ,  $\Psi_{III}''(x) = -k^2\Psi_{III}(x)$ .

Решения данных уравнений и первые производные от них имеют вид:

$$\begin{aligned} \Psi_I(x) &= Ae^{ikx} + Be^{-ikx}, & \Psi_I'(x) &= Aike^{ikx} - Bike^{-ikx}, \\ \Psi_{II}(x) &= C_1e^{iKx} + C_2e^{-iKx}, & \Psi_{II}'(x) &= C_1iKe^{iKx} - C_2iKe^{-iKx}, \\ \Psi_{III}(x) &= De^{ikx}, & \Psi_{III}'(x) &= Dike^{ikx}. \end{aligned}$$

Подставим полученные выражения в условия сшивания [2]:

$$\begin{cases} Ae^{-ika} + Be^{ika} = C_1e^{-iKa} + C_2e^{iKa}, \\ Aike^{-ika} - Bike^{ika} = C_1iKe^{-iKa} - C_2iKe^{iKa}, \\ C_1e^{iKa} + C_2e^{-iKa} = De^{ika}, \\ C_1iKe^{iKa} - C_2iKe^{-iKa} = Dike^{ika}. \end{cases} \quad (3)$$

Решив данную систему, получим искомые коэффициенты. Однако нахождение коэффициентов прохождения и отражения способом, описываемым в большинстве учебников, является сложным и может привести к большому количеству ошибок. Поэтому используем матричный метод их определения.

Запишем два последних уравнения системы (3) в виде произведения матриц:

$$\begin{bmatrix} e^{iKa} & e^{-iKa} \\ iKe^{iKa} & -iKe^{-iKa} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{ika} & e^{-ika} \\ ike^{ika} & -ike^{-ika} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Введём замены:

$$M_1 = \begin{bmatrix} e^{iKa} & e^{-iKa} \\ iKe^{iKa} & -iKe^{-iKa} \end{bmatrix}, \quad M_2 = \begin{bmatrix} e^{ika} & e^{-ika} \\ ike^{ika} & -ike^{-ika} \end{bmatrix}.$$

Найдем определитель матрицы  $M_1$  и обратную матрицу  $M_1^{-1}$ :

$$\det M_1 = -2iK,$$

$$M_1^{-1} = \frac{1}{-2iK} \begin{bmatrix} -iKe^{-iKa} & -e^{-iKa} \\ -iKe^{iKa} & e^{iKa} \end{bmatrix}.$$

Теперь можно выразить коэффициенты  $C_1$  и  $C_2$ :

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} &= \frac{1}{-2iK} \begin{bmatrix} -iKe^{-iKa} & -e^{-iKa} \\ -iKe^{iKa} & e^{iKa} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{ika} & e^{-ika} \\ ike^{ika} & -ike^{-ika} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D \\ 0 \end{bmatrix} = \\ &= M_1^{-1} \cdot M_2 \cdot \begin{bmatrix} D \\ 0 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (4)$$

Запишем два первых уравнения системы (3) в виде произведения матриц:

$$\begin{bmatrix} e^{-ika} & e^{ika} \\ ike^{-ika} & -ike^{ika} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-iKa} & e^{iKa} \\ iKe^{-iKa} & -iKe^{iKa} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix}.$$

Введём замены:

$$M_3 = \begin{bmatrix} e^{-ika} & e^{ika} \\ ike^{-ika} & -ike^{ika} \end{bmatrix}, \quad M_4 = \begin{bmatrix} e^{-iKa} & e^{iKa} \\ iKe^{-iKa} & -iKe^{iKa} \end{bmatrix}.$$

Найдем определитель матрицы  $M_3$  и обратную матрицу  $M_3^{-1}$ :

$$\det M_3 = -2ik,$$

$$M_3^{-1} = \frac{1}{-2ik} \begin{bmatrix} -ike^{ika} & -e^{ika} \\ -ike^{-ika} & e^{-ika} \end{bmatrix}.$$

Выразим коэффициенты  $A$  и  $B$ , необходимые для определения коэффициента отражения  $R$ :

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} &= \frac{1}{-2ik} \begin{bmatrix} -ike^{ika} & -e^{ika} \\ -ike^{-ika} & e^{-ika} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{-iKa} & e^{iKa} \\ iKe^{-iKa} & -iKe^{iKa} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = \\ &= M_3^{-1} \cdot M_4 \cdot \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Подставляя в полученное выражение найденные ранее коэффициенты  $C_1$  и  $C_2$  (см. формулу (4)) получим:

$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = M_3^{-1} \cdot M_4 \cdot M_1^{-1} \cdot M_2 \cdot \begin{bmatrix} D \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Рассматривая случай с  $E < U_0$  (рисунок 1), введем замены:

$$\frac{2mE}{\hbar^2} = k^2, \quad \frac{2m}{\hbar^2}(U_0 - E) = \alpha^2,$$

тогда:  $\Psi_{II}''(x) = \alpha^2 \Psi_{II}(x)$ .

Решение данного уравнения запишем в виде:

$$\Psi_{II}(x) = C_1 e^{-\alpha x} + C_2 e^{\alpha x}.$$

Первая производная:

$$\Psi_{II}'(x) = -C_1 \alpha e^{-\alpha x} + C_2 \alpha e^{\alpha x}.$$

Остальные уравнения системы (2) останутся без изменений. Подставив полученные выражения в условия сшивания и проделав необходимые операции, получим выражение, аналогичное (5):

$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = M_3^{-1} \cdot M_4 \cdot M_1^{-1} \cdot M_2 \cdot \begin{bmatrix} D \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Только здесь матрицы  $M_1^{-1}$  и  $M_4$  будут иметь вид:

$$M_1^{-1} = \frac{1}{2\alpha} \begin{bmatrix} \alpha e^{\alpha a} & -e^{\alpha a} \\ \alpha e^{-\alpha a} & e^{-\alpha a} \end{bmatrix}, \quad M_4 = \begin{bmatrix} e^{\alpha a} & e^{-\alpha a} \\ -\alpha e^{\alpha a} & \alpha e^{-\alpha a} \end{bmatrix}.$$

Матрицы  $M_3^{-1}$  и  $M_2$  не претерпят изменений.

В случае  $E = U_0$  (рисунок 1), скобка  $(E - U_0)$  будет равняться нулю, вторая производная  $\Psi_{II}''(x)$  также будет равняться нулю. Решением данного уравнения будет:

$$\Psi_{II}(x) = C_1 + C_2 x.$$

Первая производная:

$$\Psi_{II}'(x) = C_2.$$

Здесь опять получаем аналогичное выражение вида:

$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = M_3^{-1} \cdot M_4 \cdot M_1^{-1} \cdot M_2 \cdot \begin{bmatrix} D \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Но матрицы  $M_1^{-1}$  и  $M_4$  будут уже иметь вид:

$$M_1^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & -a \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad M_4 = \begin{bmatrix} 1 & -a \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

В то время как матрицы  $M_3^{-1}$  и  $M_2$  не претерпят изменений.

Таким образом, чем меньше размеры, массы частиц, ширина потенциала и разность энергий  $E - U_0$ , тем больше вероятность прохождения частицы через барьер.

### Литература

1. Балашов, В. В. Квантовая теория столкновений / В. В. Балашов. – М. : МАКС Пресс, 2012. – 292 с.
2. Criffiths, David J. Introduction to Quantum Mechanics / David J. Criffiths. – Prentice Hall. Upper Saddle. River, New Jersey, 1994. – 394 p.

**А. Д. Жуковец**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. Н. Капшай**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### **МАТРИЧНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРОХОЖДЕНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ ДЛЯ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА В СЛУЧАЕ ОТ 0 ДО $a$**

Рассмотрим прохождение частицы через прямоугольный потенциальный барьер от 0 до  $a$ , чтобы определить коэффициенты прохождения и отражения в данном случае.

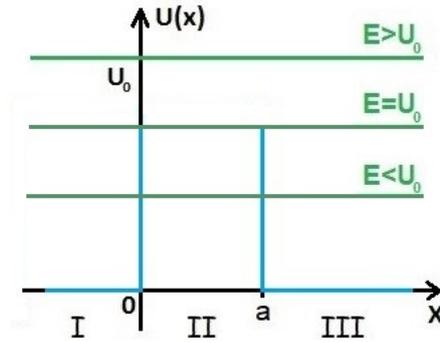


Рисунок 1 – График потенциального барьера (от 0 до a).  
Возможные значения энергии:  $E > U_0$ ,  $E = U_0$ ,  $E < U_0$

Для начала разберем случай с  $E > U_0$  (рисунок 1). Запишем одномерное уравнение Шредингера для каждой из областей [1]:

$$\begin{aligned}
 -\frac{\hbar^2}{2m} \Psi_I''(x) &= E\Psi_I(x), & x < 0, \\
 -\frac{\hbar^2}{2m} \Psi_{II}''(x) + U_0(x)\Psi_{II}(x) &= E\Psi_{II}(x), & 0 < x < a, \\
 -\frac{\hbar^2}{2m} \Psi_{III}''(x) &= E\Psi_{III}(x), & x > a.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Используем условия сшивания:

$$\begin{cases} \Psi_I(0) = \Psi_{II}(0), \\ \Psi_I'(0) = \Psi_{II}'(0), \end{cases} \quad \begin{cases} \Psi_{II}(a) = \Psi_{III}(a), \\ \Psi_{II}'(a) = \Psi_{III}'(a). \end{cases} \tag{2}$$

Упростим выражения (1), умножив их на  $-\frac{2m}{\hbar^2}$ , введём замены:

$$\frac{2mE}{\hbar^2} = k^2, \quad \frac{2m}{\hbar^2}(U_0 - E) = K^2,$$

тогда:  $\Psi_I''(x) = -k^2\Psi_I(x)$ ,  $\Psi_{II}''(x) = -K^2\Psi_{II}(x)$ ,  
 $\Psi_{III}''(x) = -k^2\Psi_{III}(x)$ .

Решения данных уравнений и первые производные от них имеют вид:

$$\begin{aligned}
 \Psi_I(x) &= Ae^{ikx} + Be^{-ikx}, & \Psi_I'(x) &= Aike^{ikx} - Bike^{-ikx}, \\
 \Psi_{II}(x) &= C_1e^{iKx} + C_2e^{-iKx}, & \Psi_{II}'(x) &= C_1iKe^{iKx} - C_2iKe^{-iKx}, \\
 \Psi_{III}(x) &= De^{ikx}, & \Psi_{III}'(x) &= Dike^{ikx}.
 \end{aligned}$$

Подставим полученные выражения в условия сшивания [2]:

$$\begin{cases} A + B = C_1 + C_2, \\ Aik - Bik = C_1 iK - C_2 iK, \\ C_1 e^{iKa} + C_2 e^{-iKa} = D e^{ika}, \\ C_1 iK e^{iKa} - C_2 iK e^{-iKa} = D iK e^{ika}. \end{cases} \quad (3)$$

Решив данную систему, получим искомые коэффициенты. Однако нахождение коэффициентов прохождения и отражения способом, описываемым в большинстве учебников, является сложным и может привести к большому количеству ошибок. Поэтому используем матричный метод их определения.

Запишем два последних уравнения системы (3) в виде произведения матриц:

$$\begin{bmatrix} e^{iKa} & e^{-iKa} \\ iK e^{iKa} & -iK e^{-iKa} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{ika} & e^{-ika} \\ iK e^{ika} & -iK e^{-ika} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Введём замены:

$$M_1 = \begin{bmatrix} e^{iKa} & e^{-iKa} \\ iK e^{iKa} & -iK e^{-iKa} \end{bmatrix}, \quad M_2 = \begin{bmatrix} e^{ika} & e^{-ika} \\ iK e^{ika} & -iK e^{-ika} \end{bmatrix}.$$

Найдем определитель матрицы  $M_1$  и обратную матрицу  $M_1^{-1}$ :

$$\det M_1 = -2iK, \\ M_1^{-1} = \frac{1}{-2iK} \begin{bmatrix} -iK e^{-iKa} & -e^{-iKa} \\ -iK e^{iKa} & e^{iKa} \end{bmatrix}.$$

Теперь можно выразить коэффициенты  $C_1$  и  $C_2$ :

$$\begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{-2iK} \begin{bmatrix} -iK e^{-iKa} & -e^{-iKa} \\ -iK e^{iKa} & e^{iKa} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{ika} & e^{-ika} \\ iK e^{ika} & -iK e^{-ika} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D \\ 0 \end{bmatrix} = \\ = M_1^{-1} \cdot M_2 \cdot \begin{bmatrix} D \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Запишем два первых уравнения системы (3) в виде произведения матриц:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ ik & -ik \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ iK & -iK \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix}.$$

Введём замены:

$$M_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ ik & -ik \end{bmatrix}, \quad M_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ iK & -iK \end{bmatrix}.$$

Найдем определитель матрицы  $M_3$  и обратную матрицу  $M_3^{-1}$ :

$$\det M_3 = -2ik,$$

$$M_3^{-1} = \frac{1}{-2ik} \begin{bmatrix} -ik & -1 \\ -ik & 1 \end{bmatrix}.$$

Выразим коэффициенты  $A$  и  $B$ , необходимые для определения коэффициента отражения  $R$ :

$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \frac{1}{-2ik} \begin{bmatrix} -ik & -1 \\ -ik & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ iK & -iK \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = M_3^{-1} \cdot M_4 \cdot \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix}.$$

Подставляя в полученное выражение найденные ранее коэффициенты  $C_1$  и  $C_2$  (см. формулу (4)) получим:

$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = M_3^{-1} \cdot M_4 \cdot M_1^{-1} \cdot M_2 \cdot \begin{bmatrix} D \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Рассматривая случай с  $E < U_0$  (рисунок 1), введем замены:

$$\frac{2mE}{\hbar^2} = k^2, \quad (U_0 - E) = \alpha^2,$$

тогда:  $\Psi_{II}''(x) = \alpha^2 \Psi_{II}(x)$ .

Решение данного уравнения запишем в виде:

$$\Psi_{II}(x) = C_1 e^{-\alpha x} + C_2 e^{\alpha x}.$$

Первая производная:

$$\Psi_{II}'(x) = -C_1 \alpha e^{-\alpha x} - C_2 \alpha e^{\alpha x}.$$

Остальные уравнения системы (2) останутся без изменений. Подставив полученные выражения в условия сшивания и проделав необходимые операции, получим выражение, аналогичное (5):

$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = M_3^{-1} \cdot M_4 \cdot M_1^{-1} \cdot M_2 \cdot \begin{bmatrix} D \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Только здесь матрицы  $M_1^{-1}$  и  $M_4$  будут иметь вид:

$$M_1^{-1} = \frac{1}{2a} \begin{bmatrix} ae^{aa} & -e^{aa} \\ ae^{-aa} & e^{-aa} \end{bmatrix}, \quad M_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -a & a \end{bmatrix}.$$

Матрицы  $M_3^{-1}$  и  $M_2$  не претерпят изменений.

В случае  $E = U_0$  (рисунок 1), скобка  $(E - U_0)$  будет равняться нулю, вторая производная  $\Psi_{II}''(x)$  также будет равняться нулю. Решением данного уравнения будет:

$$\Psi_{II}(x) = C_1 + C_2x.$$

Первая производная:

$$\Psi_{II}'(x) = C_2.$$

Здесь опять получаем аналогичное выражение вида:

$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = M_3^{-1} \cdot M_4 \cdot M_1^{-1} \cdot M_2 \cdot \begin{bmatrix} D \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Но матрицы  $M_1^{-1}$  и  $M_4$  будут уже иметь вид:

$$M_1^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & -a \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad M_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

В то время как матрицы  $M_3^{-1}$  и  $M_2$  не претерпят изменений.

Таким образом, найденные матрицы позволяют определить коэффициенты прохождения и отражения для потенциального барьера от 0 до  $a$ , при этом они имеют более простой вид по сравнению с матрицами, полученными в случае области от  $-a$  до  $a$ , а значит их нахождение является менее трудоемким.

## Литература

1. Балашов, В. В. Квантовая теория столкновений / В. В. Балашов. – М. : МАКС Пресс, 2012. – 292 с.
2. Criffiths, David J. Introduction to Quantum Mechanics / David J. Criffiths. – Prentice Hall. Upper Saddle. River, New Jersey, 1994. – 394 p.

**В. Ю. Златина**

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **В. Ю. Гавриш**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ $\delta$ -ФУНКЦИИ ДИРАКА

**Введение.** Решение задач квантовой теории рассеяния невозможно без использования аппарата математической физики. Так даже простейшие задачи расчета наблюдаемых на эксперименте величин в физике элементарных частиц требуют специализированных методов.

Работа посвящена приложениям  $\delta$ -функции Дирака. В разделе **1** приведено определение функции Дирака в терминах функционального анализа. В разделе **2** изложены основные тождества для  $\delta$ -функции. Как результат работы, в разделе **3** приведен пример использования функции Дирака для расчета фазового объема конечного двухчастичного состояния.

**1. Определение  $\delta$ -функции Дирака.** Сформулируем задачу определения плотности точки единичной массы [1]. Для простоты будем считать, что эта точка совпадает с началом координат. От такой плотности потребуем, чтобы интеграл по любому объему  $V$  давал бы массу вещества, заключенного в этом объеме, т.е.

$$\int_V \delta(x) dx = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 \in V, \\ 0, & \text{если } 0 \notin V, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\delta(x) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} f_\varepsilon(x)$ ,  $f_\varepsilon(x)$  – средняя плотность такой точки,  $f_\varepsilon(x) = \frac{3}{4\pi\varepsilon^3}$ . Показано [1], для любой непрерывной функций  $\varphi(x)$  предел при  $\varepsilon \rightarrow 0$  числовой последовательности определен как

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int f_\varepsilon(x) \varphi(x) dx = \varphi(0). \quad (2)$$

Действительно, в силу непрерывности функции  $\varphi(x)$  для любого  $\eta > 0$  существует такое  $\varepsilon_0 > 0$ , что  $|\varphi(x) - \varphi(0)| < \eta$  при условии  $|x| < \varepsilon_0$ . Отсюда при всех  $\varepsilon \leq \varepsilon_0$  получаем

$$\left| \int f_\varepsilon(x) \varphi(x) dx - \varphi(0) \right| \leq \frac{3}{4\pi\varepsilon^3} \left| \int_{|x| < \varepsilon} [\varphi(x) - \varphi(0)] dx \right| < \eta \frac{3}{4\pi\varepsilon^3} \int_{|x| < \varepsilon} dx = \eta \quad (3)$$

Таким образом, слабым пределом последовательности функции [1]  $f_\varepsilon(x)$  при  $\varepsilon \rightarrow 0$  является функционал, сопоставляющей каждой непрерывной функции  $\varphi(x)$  число  $\varphi(0)$  – её значение в точке  $x=0$ . Вот этот функционал и принимается за определение плотности  $\delta(x)$ , или за  $\delta$  – функцию Дирака.

**2. Свойства  $\delta$  – функции Дирака.** Приведем основные математические соотношения для  $\delta$  – функции Дирака. Исходя из соотношения  $\delta(x) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} f_\varepsilon(x)$  под  $\delta$  – функцией далее будем понимать функцию со свойством

$$\delta(x) = \begin{cases} \infty, & \text{если } x = 0, \\ 0, & \text{если } x \neq 0, \end{cases} \quad (4)$$

или в общем случае

$$\delta(x - a) = \begin{cases} \infty, & \text{если } x = a, \\ 0, & \text{если } x \neq a. \end{cases} \quad (5)$$

Важным в дальнейших вычислениях представится соотношение

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(x) dx = 1 \quad (6)$$

с его следствиями

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\delta(x)dx = f(0), \quad \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\delta(x-a)dx = f(a). \quad (7)$$

Полезным окажется соотношение [2, 3]

$$\delta(f(x)) = \sum_{i=1}^n \frac{\delta(x-x_i)}{|f'(x_i)|}, \quad (8)$$

где  $x_i$  – корни функции  $f(x)$ . Так, к примеру в случае выражения  $f(x) = x^2 - a^2$  соотношение (8) приводит к

$$\delta(x^2 - a^2) = \frac{1}{2|a|} (\delta(x-a) + \delta(x+a)). \quad (9)$$

Ниже приведем пример использования соотношений (6), (7) и (9) для расчета интегралов по фазовому пространству.

**3. Вычисление интегралов фазового пространства.** Рассмотрим интеграл [4]

$$\int \frac{d^3 p_1}{2E_1} \frac{d^3 p_2}{2E_2} \delta^{(4)}(p_1 + p_2 - P), \quad (10)$$

возникающий при вычислении наблюдаемых процесса распада  $1 \rightarrow 2$ . Для вычисления (10) воспользуемся соотношением

$$\int \delta(p_1^2 - m_1^2) d^4 p_1 = \frac{d^3 \vec{p}_1}{2E_1}, \quad (11)$$

которое следует из выражения (9) и связи энергии и импульса релятивистской частицы  $E^2 = \vec{p}^2 + m^2$ ,  $p = \{E, \vec{p}\}$ . Подставляя (11) в (10) и проводя интегрирование по переменной  $p_1$  с учетом соотношения (7), получаем

$$\int \frac{d^3 p_2}{2E_2} \delta^{(4)}((P - p_2)^2 - m_1^2) = \int \frac{d^3 p_2}{2E_2} \delta^{(4)}(P^2 - 2(p_2 \cdot P) + m_2^2 - m_1^2). \quad (12)$$

Дальнейшие вычисления удобно проводить в системе покоя исходной частицы [4], т.е.  $\vec{P} = 0$ , откуда  $P^2 = M^2$  и  $(p_2 \cdot P) = M \cdot E_2$ . Следуя выражению (8), определим модуль производной

$$\left| \frac{d}{dE_2} (M^2 - 2M \cdot E_2 + m_2^2 - m_1^2) \right| = 2E_2 \quad (13)$$

и с учетом выражения [4]

$$\frac{d^3 \vec{p}_2}{E_2} = |\vec{p}_2| dE_2 d\Omega_2 \quad (14)$$

для выражения (10) окончательно получаем

$$\int \frac{d^3 p_1}{2E_1} \frac{d^3 p_2}{2E_2} \delta^{(4)}(p_1 + p_2 - P) = \frac{|\vec{p}_2|}{4E_2} \int d\Omega_2. \quad (15)$$

Дальнейшее вычисление интеграла по телесному углу  $\int d\Omega_2$  не входит в цели предлагаемой работы.

**Заключение.** Работа посвящена некоторым физическим приложениям  $\delta$ -функции Дирака. Авторы отмечают, что все приложения функции Дирака достаточно многообразны, поэтому подробное использование представлено только для задачи теории рассеяния релятивистских частиц.

## Литература

1. Владимиров, В. С. Уравнения математической физики / В. С. Владимиров. – М.: Наука, 1967. – 436 с.
2. Тахтаджян, Л. А. Квантовая механика для математиков / Л. А. Тахтаджян. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. – 496 с.
3. Блохинцев, Д. И. Основы квантовой механики : учебное пособие / Д. И. Блохинцев. – М.: Наука, 1976. – 664 с.
4. Биленький, С. М. Введение в диаграммы Фейнмана и физику электрослабого взаимодействия / С. М. Биленький. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 327 с.

**В. Ю. Златина**  
(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)  
Науч. рук. **В. Ю. Гавриш**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## ФУНКЦИЯ ГРИНА ГАРМОНИЧЕСКОГО ОСЦИЛЛЯТОРА

**Введение.** Известно, что большинство физических задач сводятся к дифференциальным уравнениям [1, 2], решение которых проводят специализированными методами. К одним из таких задач можно отнести задачу о колебательном движении.

В работе авторы проводят решение задачи о гармоническом осцилляторе методом функции Грина. В разделе 1 приводится процедура решения дифференциальных уравнений указанным методом. В разделе 2 кратко обсуждаются представления  $\delta$ -функции Дирака, которые используются в изучаемом подходе. В разделе 3 проведена процедура определения функции Грина для исследуемого случая.

**1. Метод функции Грина.** Пусть дифференциальное уравнение имеет вид

$$\hat{Q} f(x) = f_0(x), \quad (1)$$

где  $\hat{Q}$  – линейный дифференциальный оператор,  $f(x)$  – искомая функция, а  $f_0(x)$  – некоторая заданная функция. Искомую функцию можно определить из соотношения

$$f(x) = \hat{L} f_0(x), \quad (2)$$

в котором  $\hat{L}$  есть некоторый оператор, определяемый видом оператора  $\hat{Q}$ . Для решения поставленной задачи введем вспомогательную функцию  $G(x - x')$ , являющуюся решением уравнения

$$\hat{Q} G(x - x') = \delta(x - x'), \quad (3)$$

где  $\delta(x - x')$  – дельта-функция Дирака. Функцию  $G(x - x')$  называют функцией Грина [1], соответствующей задаче (2). С помощью  $G(x - x')$  решение уравнения может быть представлено в виде

$$f(x) = \int G(x-x')f_0(x') dx'. \quad (4)$$

Действительно, подействуем на соотношение (4) оператором  $\hat{Q}$ . Учитывая (3) получаем, что

$$\hat{Q}f(x) = \int \hat{Q}G(x,x')f_0(x') dx' = \int \delta(x-x')f_0(x') dx' = f_0(x). \quad (5)$$

**2. Представления  $\delta$  – функции Дирака.** Приведем используемые ниже представление  $\delta$  – функции Дирака. Исходя из выражения

$$\delta(x) = \begin{cases} \infty, & \text{если } x = 0, \\ 0, & \text{если } x \neq 0, \end{cases} \quad (6)$$

под  $\delta$  – функцией далее будем понимать функцию со свойствами

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\delta(x)dx = f(0), \quad \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\delta(x-a)dx = f(a). \quad (7)$$

Одним из важнейших представлений функции Дирака является интегральное представление

$$\delta(x-a) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{i\omega(x-a)} d\omega. \quad (8)$$

Выражение (8) устанавливается с использованием преобразований Фурье [2]. Действительно, используя выражение

$$\tilde{f}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)e^{i\omega x} dx, \quad (9)$$

определяющее Фурье-образ функции  $f(x)$  и выражения для обратного преобразования

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{f}(\omega)e^{-i\omega x} d\omega, \quad (10)$$

нетрудно показать, что

$$f(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{f}(x) e^{-i\omega a} d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \left( \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) e^{i\omega x} dx \right) e^{-i\omega a} d\omega, \quad (11)$$

откуда с учетом (8) следует соотношение (7). Отметим, что в литературе также известны интегральные представления  $\delta$ -функции с использованием сферических функций Бесселя, функций Эйри и др.

**3. Функция Грина гармонического осциллятора.** Решим дифференциальное уравнение [2]

$$\left\{ \frac{d^2}{dt^2} + \omega_0^2 \right\} x(t) = f(t), \quad (12)$$

соответствующее задаче об определении положения гармонического осциллятора  $x(t)$  частотой  $\omega_0$ , движущегося под действием вынуждающей силы  $f(t)$ . Следуя методике, изложенной в разделе 1, функцию Грина для оператора  $\left\{ d^2/dt^2 + \omega_0^2 \right\}$  определим из выражения

$$\left\{ \frac{d^2}{dt^2} + \omega_0^2 \right\} G(t-t') = \delta(t-t'). \quad (13)$$

Используя выражение (8) и Фурье-преобразование для функции Грина из (13) получаем

$$\begin{aligned} \left\{ \frac{d^2}{dt^2} + \omega_0^2 \right\} \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{G}(\omega) e^{i\omega(t-t')} d\omega = \\ \int_{-\infty}^{+\infty} (-\omega^2 + \omega_0^2) \tilde{G}(\omega) e^{i\omega(t-t')} d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{i\omega(t-t')} d\omega, \end{aligned} \quad (14)$$

откуда

$$\tilde{G}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2}. \quad (15)$$

С учетом выражения (15) искомая функция Грина запишется как

$$G(t-t') = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{i\omega(t-t')}}{\omega_0^2 - \omega^2} d\omega, \quad (16)$$

а решение дифференциального уравнения (12) соответственно

$$x(t) = x_0(t) + \frac{1}{2\pi} \int_0^t \int_{-\infty}^{+\infty} d\omega \frac{e^{i\omega(t-t')}}{\omega_0^2 - \omega^2} f(t') dt', \quad (17)$$

где  $x_0(t)$  – решение уравнения (12) без правой части. Отметим, что дальнейшие вычисления (17) проводят с учетом явного вида вынуждающей силы  $f(t)$  методами теории функции комплексной переменной [3].

**Заключение.** Работа посвящена применению функции Грина для решения задачи о гармоническом осцилляторе. В ходе работы были получены общие выражения изучаемого случая, которые могут быть использованы для различных выражений вынуждающей силы.

### Литература

1. Владимиров, В. С. Уравнения математической физики / В. С. Владимиров. – Москва: Наука, 1967. – 436 с.
2. Тахтаджян, Л. А. Квантовая механика для математиков / Л. А. Тахтаджян. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. – 496 с.
3. Шабунин, М. И. Теория функций комплексного переменного / М. И. Шабунин, Ю. В. Сидоров. – Москва: Лаборатория знаний, 2016. – 300 с.

**М. В. Изойтко**

(ПГУ, Новополюцк)

Науч. рук. **В. Ф. Янушкевич**, канд. техн. наук, доцент

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДЫ НАД УГЛЕВОДОРОДАМИ

Актуальность рассматриваемых в данной работе задач определяется возросшими требованиями по поиску залежей нефти и газа (углеводородов) и усовершенствованием электромагнитных методов для

ооконтуривания углеводородных залежей (УВЗ) [1–3]. Внедрение новых методов их выделения решается с помощью моделирования электродинамических характеристик среды над углеводородами и обусловлено их высокой эффективностью, экологической чистотой, высокой степенью достоверности по сравнению с методами сейсмо-, грави-, и магниторазведки [4–6].

Было проведено моделирование взаимодействия среды над УВЗ и двухчастотного сигнала:

$$\vec{S}(t) = \vec{S}_1(t) + \vec{S}_2(t) = A_1 \cos \omega_1 t + A_2 \cos \omega_2 t, \quad (1)$$

где  $A_1, A_2, \omega_1, \omega_2$  – соответственно амплитуды и частоты электромагнитных волн (ЭМВ).

Для задач ооконтуривания УВЗ применяются различные источники излучения ЭМВ с коэффициентами отношения амплитуд и частот

$$k_E = \frac{A_2}{A_1}, \quad k_\omega = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (2)$$

Для исследований свойств среды над УВЗ применен анализ поверхностного импеданса среды над УВЗ (рисунок 1, 2) по формулам

$$\begin{aligned} \dot{E}_x &= -Z_0(\dot{Z}_{11} \dot{H}_x - \dot{Z}_{12} \dot{H}_y), \\ \dot{E}_y &= -Z_0(\dot{Z}_{21} \dot{H}_x - \dot{Z}_{22} \dot{H}_y), \\ \dot{Z}_{11} = \dot{Z}_{22} &= -\frac{1}{j2\sqrt{\dot{\epsilon}_R \dot{\epsilon}_L}}(\dot{\epsilon}_R - \dot{\epsilon}_L), \\ \dot{Z}_{12} = \dot{Z}_{21} &= -\frac{1}{j2\sqrt{\dot{\epsilon}_R \dot{\epsilon}_L}}(\dot{\epsilon}_R + \dot{\epsilon}_L), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\dot{E}_{x,y}, \dot{H}_{x,y}$  – координатные составляющие напряженностей электрического и магнитного полей;  $Z_0$  – характеристическое сопротивление среды, в которой находится источник излучения;

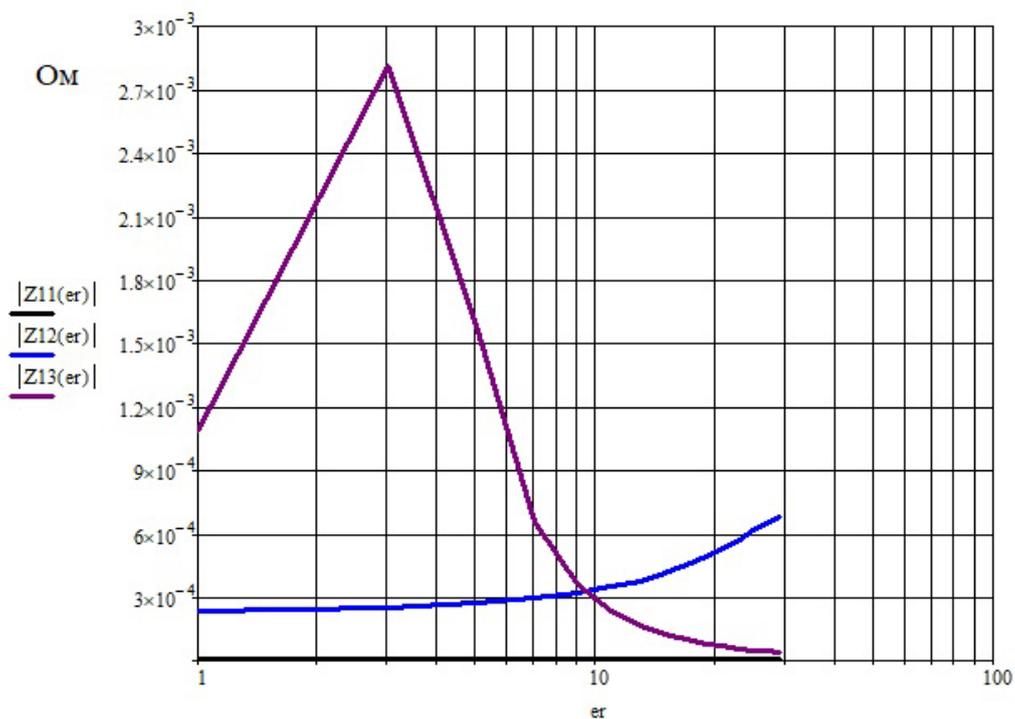


Рисунок 1 – Зависимости модуля составляющей  $\dot{z}_{11}$  от диэлектрической проницаемости среды

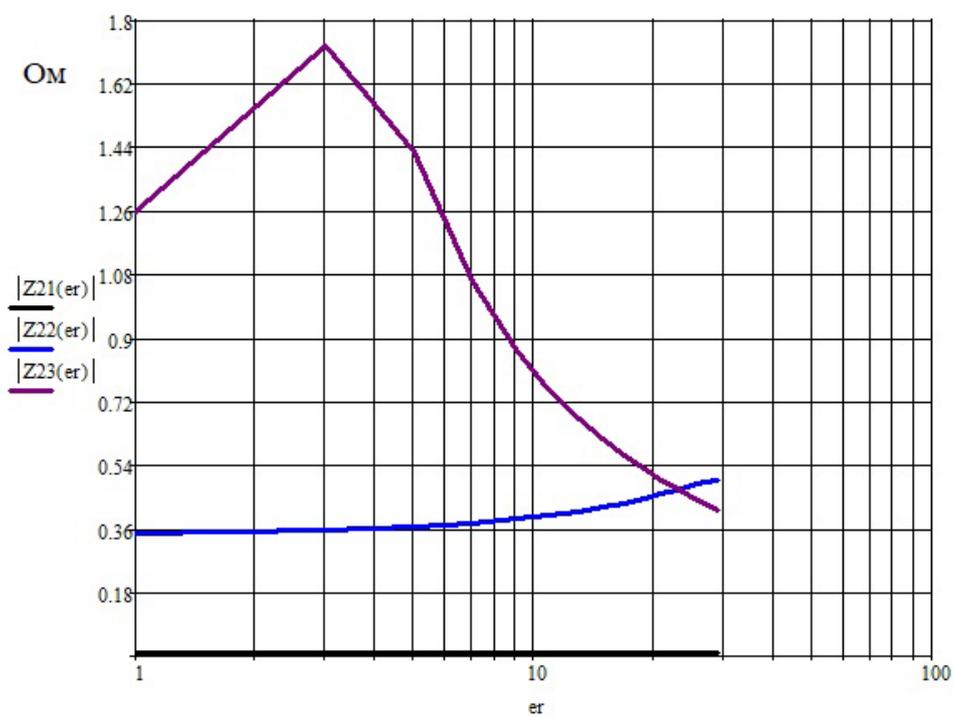


Рисунок 2 – Зависимости модуля составляющей  $\dot{z}_{21}$  от диэлектрической проницаемости среды

$\dot{Z}_{11}$  и  $\dot{Z}_{12}$  – компоненты поверхностного импеданса среды;  $\dot{\varepsilon}_R, \dot{\varepsilon}_L$  – суммарная и разностная компоненты тензора диэлектрической проницаемости среды над УВЗ для ЭМВ с правой и левой круговой поляризациями соответственно.

На графиках значения второго индекса соответствуют значениям: 1 –  $f_2 = 10^5$  Гц, 2 –  $f_2 = 10^8$  Гц, 3 –  $f_2 = 10^9$  Гц. В данной статье поставленная задача была ограничена значениями коэффициентов  $k_E \ll 1$ ,  $k_\omega \ll 1$ . Установлено, что компоненты поверхностного импеданса равномерны в исследуемом диапазоне диэлектрических проницаемостей при частоте зондирования  $f_2 = 10^5$  Гц, а при ее значении  $f_2 = 10^8$  Гц незначительно увеличиваются для более высоких значений диэлектрической проницаемости среды. Компоненты имеют при высокочастотной составляющей  $f_2 = 10^9$  Гц максимумы. Полученные результаты исследований могут быть использованы в поисковой геофизике для идентификации среды над залежами.

## Литература

1. Гололобов, Д. В. Взаимодействие электромагнитных волн и углеводородных залежей / Д. В. Гололобов. – Минск : Бестпринт, 2009. – 185 с.
2. Москвичёв, В. Н. Исследование взаимодействия электромагнитных волн с углеводородной залежью / В. Н. Москвичёв // Радиотехника и электроника. – Минск : Выш. шк., 1989. – Вып. 18. – С. 91–96.
3. Янушкевич, В. Ф. Электромагнитные методы поиска и идентификации углеводородных залежей / В. Ф. Янушкевич. – Новополоцк, ПГУ, 2017. – 232 с.
4. Helwig, S. L. Vertical-vertical controlled-source electromagnetic instrumentation and acquisition / S. L. Helwig, W. Wood, B. Gloux // Geophysical Prospecting. – 2019. – Vol. 67, Iss. 6. – P. 1582 – 1594.
5. Henke, C. H. Subsalt imaging in Northern Germany using multiphysics (magnetotellurics, gravity, and seismic) / C. H. Henke, M. Krieger, K. Strack, A. Zerilli // Interpretatio. – 2020. – Vol. 8. – № 4. – P. 15 – 24.
6. Moskvichew, V. N. Interaction of electromagnetic waves (EMW) with anisotropic inclusion in communication line / V. N. Moskvichew // 9-th Microw. Conf. NICON – 91, Rydzyna, May 20-22, 1991. – Vol. 1. – P. 240–244.

**С. В. Киргинцева**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. В. Можаровский**, д-р техн. наук, профессор

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРИБЛИЖЕННОГО РАСЧЕТА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ УПРУГОГО ПОКРЫТИЯ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ**

### **Введение и постановка задачи**

Для успешного развития многих отраслей машиностроения необходимо проводить фундаментальные исследования в области создания новых конструкционных материалов на основе современных технологий. Одним из наиболее перспективных путей решения указанной проблемы является создание материалов с модифицированными поверхностными слоями, обладающими повышенными физико-механическими свойствами и стойкостью к разрушению в процессе фрикционного взаимодействия, работающих в сложных эксплуатационных условиях. При этом требуется создавать современные математические модели и методики расчета тел качения и скольжения применительно к процессам фрикционного взаимодействия материалов. Так, при исследовании контактного взаимодействия упругих тел возникает необходимость создавать новые методики расчета прочности элементов деталей машин, например, износа зубьев зубчатых колес. В связи с этим разрабатываются новые математические модели и компьютерные программы расчета напряжений при контакте индентора с упругим телом (или покрытием) при их взаимодействии.

Для расчета перемещений на поверхности упругих покрытий на упругом основании требуется создание сложных решений с помощью интегральных преобразований, например, Ханкеля и расчет с помощью функций Бесселя (см., например, [1, 2] и др.). Естественно, требуется создавать более простые решения и достаточно эффективные. Так, например, в работе [3] представлено решение определения перемещений поверхности покрытия (слоя) при вдавливании жесткой сферы в упругое покрытие на упругом основании. Суть метода заключается в том, что для приближенного решения данной задачи использовалась фундаментальная задача о действии нормальной сосредоточенной силы  $P$  на упругое полупространство, т.е. применяется так называемая задача Буссинеска. Интеграл, с помощью которого определяется перемещение в полупространстве, разбивается на два интеграла, изменяющиеся в диапазоне от поверхности до толщины

покрытия  $[0, h]$  с упругими свойствами  $E_n, \nu_n$  и от толщины покрытия до бесконечности в полупространстве  $[h, \infty]$  с упругими свойствами  $E_o, \nu_o$ , где  $E, \nu$  – модули упругости и коэффициенты Пуассона покрытия и основания соответственно. Такой подход приближенный, но значительно облегчает расчет перемещений с учетом упругости материалов с изменяющимися модулями упругости основания и покрытия и в тоже время, дает достаточно точные результаты, что подтверждается исследованиями работы [3] и графическими иллюстрациями в этой же работе, а также численными решениями по методу конечных элементов.

Таким образом, возникает следующая **постановка задачи**: для комплексного расчета перемещений упругих покрытий на упругом основании требуется расширить применяемую математическую модель расчета, используя классические задачи о действии нормальных и касательных сосредоточенных сил ( $P$  и  $Q$ ), т.е. задачи Буссинеска и задачи Черутти. Вследствие этого подхода можно учесть силу трения при контакте жесткого индентора с упругим покрытием, считая, что касательная сила  $Q = \mu P$ ,  $\mu$  – коэффициент трения. На рисунке 1 показано схема о действиях нормальной и касательной сил на покрытие.

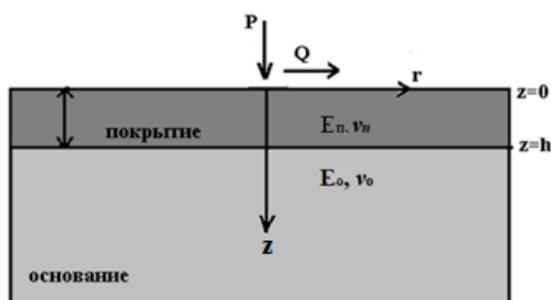


Рисунок 1 – Действие нормальной и касательной сил на покрытие

## Методика расчета перемещений в упругом покрытии при действии нормальных и касательных сил

### *Действие нормальных усилий*

Используя решение задачи Буссинеска [2], можно записать выражение для производной осевого перемещения  $w_1$  по отношению к  $z$  (осевая деформация в декартовой системе координат  $xuz$ ,  $\rho^2 = r^2 + z^2$ .)

$$\frac{\partial w_1}{\partial z} = \frac{P(1+\nu)}{2\pi E} \left[ 3r^2 z (r^2 + z^2)^{-5/2} - (3-2\nu)z (r^2 + z^2)^{-3/2} \right] \quad (1)$$

Перемещение поверхности при действии нормальной нагрузки можно получить путем интегрирования (1) формулы, такие, что

$$w_1 = \frac{P}{2\pi} \left\{ \int_{\infty}^d \frac{(1+\nu_o)}{E_o} \left[ 3r^2 z (r^2 + z^2)^{-5/2} - (3-2\nu_o)z (r^2 + z^2)^{-3/2} \right] dz + \int_d^0 \frac{(1+\nu_n)}{E_n} \left[ 3r^2 z (r^2 + z^2)^{-5/2} - (3-2\nu_n)z (r^2 + z^2)^{-3/2} \right] dz \right\}. \quad (2)$$

Преобразование формулы (2) дает

$$w_1 = \frac{P(1-\nu_n^2)}{\pi E_n r} + \frac{P}{2\pi} \left\{ \frac{(1+\nu_o)}{E_o} \left[ (3-2\nu_o)(r^2 + d^2)^{-1/2} - r^2 (r^2 + d^2)^{-3/2} \right] - \frac{(1+\nu_n)}{E_n} \left[ (3-2\nu_n)(r^2 + d^2)^{-1/2} - r^2 (r^2 + d^2)^{-3/2} \right] \right\}.$$

### *Действие касательных усилий*

Аналогично методики определения перемещений поверхности в упругом покрытии при действии нормальных сил строим решение при действии касательных сил. Нормальное перемещение  $w_2$  поверхности при действии касательной силы определяется по формуле:

$$w_2 = \frac{\mu P(\nu_o + 1)(1-2\nu_o)}{2\pi E_o r} + \frac{\mu P}{2\pi} \left\{ \frac{(1+\nu_o)}{E_o} \left[ 2\nu_o d r^{-1} (r^2 + d^2)^{-1/2} - d^3 r^{-1} (r^2 + d^2)^{-3/2} \right] - \frac{(1+\nu_n)}{E_n} \left[ 2\nu_n d r^{-1} (r^2 + d^2)^{-1/2} - d^3 r^{-1} (r^2 + d^2)^{-3/2} \right] \right\}.$$

Таким образом, при действии касательной нагрузки нормальное перемещение поверхности покрытия определяется как суперпозиция перемещений при действии нормальных и касательных сил:

$$w = w_1 + w_2.$$

Используя вышеприведенную методику, строится алгоритм расчета перемещений поверхности упругого покрытия при контактном

взаимодействии жестких инденторов с учетом трения, считая, что распределения давлений на поверхности задано действием сосредоточенных сил.

### Литература

1. Уфлянд, Я. С. Интегральные преобразования в задачах теории упругости / Я. С. Уфлянд // Л. : Наука, 1968. – 403 с.
2. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М. : Мир, 1989. – 510 с.
3. Hsueh, C.-H. Master curves for Hertzian indentation on coating/substrate systems / Chun-Hway Hsueh, Pedro Miranda // J. Mater. Res. – Vol. 19, Iss. 1, Jan 2004. – P. 94–100.

**В. А. Климович**

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **И. А. Концевой**, ст. преподаватель

### ТОЧЕЧНОЕ ВОЗМУЩЕНИЕ НА ЛИНИИ РОСТА ДЕНДРИТА В ПЕРЕОХЛАЖДЕННОМ РАСПЛАВЕ

Разработка новых технологий получения материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами требует решения теоретических и экспериментальных задач высокоскоростной кристаллизации чистых веществ [1]. Цель работы: изучить дендритный режим роста кристалла под воздействием волновых возмущений на линии роста.

Фазовую границу кристаллизации (ФГК) моделируем плоской линией сильного разрыва  $x - F(y, t) = 0$ . Здесь  $t$  – время;  $x$  – координата вдоль оси симметрии в сторону твердой фазы;  $y$  – поперечная декартова координата. Нормаль  $\mathbf{n}$  границы образует с осью  $x$  угол  $\theta$ :  $\cos \theta = 1/G$ ,  $G = (1 + (\partial F / \partial y)^2)^{1/2}$ . ФГК перемещается со скоростью  $N$  справа налево ( $N = N\mathbf{n}$ ,  $N < 0$ ), и на ее вершине  $\partial F / \partial y = 0$ ,  $\cos \theta = 1$ . По мере удаления от вершины  $\theta \rightarrow \pi/2$ . Угол заострения линии роста равен  $\theta_1 = (\pi/2) - \theta$ .

На ФГК имеем замкнутую систему трех граничных условий.

I. Баланс энергии

$$q_j = Nc(T_j - T_*) - Q, \quad Q = L \left( N + \gamma_j \frac{\partial N}{\partial t} \right), \quad N = (\partial F / \partial t) / G. \quad (1)$$

II. Кинетическая связь, описывающая нормальный механизм роста

$$|N| = \mu(T_e - T_j), \quad T_e = T_c[1 - (UK / L)] \quad (2)$$

III. Отклонение температуры кристалла  $T_j$  от равновесного значения  $T_c$  в зависимости от локального угла наклона  $\theta$  [2]:

IV.

$$(T_c - T_j) = (\cos \theta)^\delta B, \quad \delta \geq 1, \quad B \equiv \text{const}. \quad (3)$$

Звездочкой отмечены параметры расплава перед ФГК; индекс  $j$  – для значения функции на правой стороне сильного разрыва, в твердой фазе;  $\mu$  – кинетический коэффициент роста;  $B = T_c - T_j(\theta = 0)$  – переохлаждение ФГК на вершине дендрита;  $\mu B$  – модуль характерной скорости роста на вершине;  $\delta$  – параметр неоднородности переохлаждения ФГК вдоль линии роста. Остальные условные обозначения – общепринятые. Расплав находится в однородном отрелаксировавшем состоянии. В данной работе принято  $\delta = 3$ , что позволило найти функции  $N, T_j, q_j$  в конечной форме, см. (1)–(3).

Уравнение роста записываем в виде [2]

$$\partial^2 F / \partial y^2 = \alpha B + \varphi(\partial F / \partial t)[1 + (\partial F / \partial y)^2], \quad \alpha = L / (UT_c), \quad \varphi = \alpha / \mu. \quad (4)$$

Точное решение этого дифференциального уравнения

$$F(y, t) = A_1 t + A_2(y), \quad A_1 \equiv \text{const} < 0, \\ A_2(y) = \frac{1}{a^2} \ln \left[ \left( \frac{1 + \exp(2aby)}{2} \right) \right] - \frac{b}{a} y, \quad (5)$$

$$a = (-\varphi A_1)^{1/2} > 0, \quad b = (\alpha B + \varphi A_1)^{1/2} > 0, \quad -\mu B < A_1 < 0$$

определяет стационарный профиль, который перемещается с постоянной скоростью. При  $y \rightarrow \infty$  этот профиль принимает форму клина

$$F^0 = A_1 t + A_2 y, \quad A_1 = -\mu B / (1 + A_2^2) < 0, \quad A_2 \equiv \text{const}, \quad (6)$$

который тоже является точным решением уравнения (4). После линеаризации уравнения (4) на точном решении (6) получаем:

$$F(y, t) = F^0(y, t) + f(y, t), \quad \partial^2 f / \partial y^2 = B_1 (\partial f / \partial y) + B_2 (\partial f / \partial t), \quad (7)$$

$$B_1 = 2\varphi A_1 A_2 < 0, \quad B_2 = (1 + A_2^2)\varphi > 0.$$

Здесь  $f(y, t)$  – малая добавка к основному решению (6). Далее выполняем сдвиг по координате,  $y \rightarrow y - Y_1 \geq 0$ , где  $Y_1 > 0$  – координата, соответствующая начальному поперечному сечению клина. Решение уравнения (7) принимает вид:

$$f/H = \frac{1}{t^{1/2}} \exp\left(h_1 t + h_2 y - \frac{y^2 B_2}{4t}\right), \quad y \geq 0, \quad t > 0, \quad (8)$$

где  $H$  – произвольная малая постоянная. Исходное возмущение линии роста локализовано в точке  $y = 0$  при  $t = +0$ . При каждом конечном значении  $y > 0$  функция  $f(y, t)$  в (8) является немонотонной по отношению к аргументу  $t$ :  $\partial f / \partial t = 0$  вдоль линии  $y_m(t)$ , на которой отношение  $f/H$  достигает своего максимального по  $t > 0$  значения.

Приведем результаты числовых расчетов для двух металлов со следующими теплофизическими параметрами:

1. медь, Cu:  $T_c = 1357\text{К}$ ,  $L = 1,77 \cdot 10^9 \text{ Дж/м}^3$ ,  $c = 4,17 \cdot 10^6 \text{ Дж/(м}^3 \cdot \text{К)}$ ,  $\lambda = 317 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ,  $U = 1,351 \text{ Дж/м}^2$ ,  $\gamma = 4,755 \cdot 10^{-8} \text{ с}$ ,  $\mu = 10,06 \text{ м/(К} \cdot \text{с)}$ ,  $T_* = 1177\text{К}$ ,  $N_b = 11,0 \text{ м/с}$ .

2. серебро, Ag:  $T_c = 1234\text{К}$ ,  $L = 1,1 \cdot 10^9 \text{ Дж/м}^3$ ,  $c = 2,62 \cdot 10^6 \text{ Дж/(м}^3 \cdot \text{К)}$ ,  $\lambda = 379 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ,  $U = 0,12 \text{ Дж/м}^2$ ,  $\mu = 1,24 \text{ м/(К} \cdot \text{с)}$ ,  $T_* = 1157,8\text{К}$ ,  $N_b = 14,7 \text{ м/с}$ .

Свойства точечного возмущения (8) иллюстрируются графиками на рисунке 1. Все расчеты выполнены в безразмерных величинах. Относительная величина возмущения  $f/H$  демонстрирует значительные количественные различия между указанными металлами.

Данная работа выполнена в рамках работы по заданию ГПНИ «Энергетические и ядерные процессы и технологии», подпрограмма

«Энергетические процессы и технологии». Руководитель задания профессор О. Н. Шабловский.

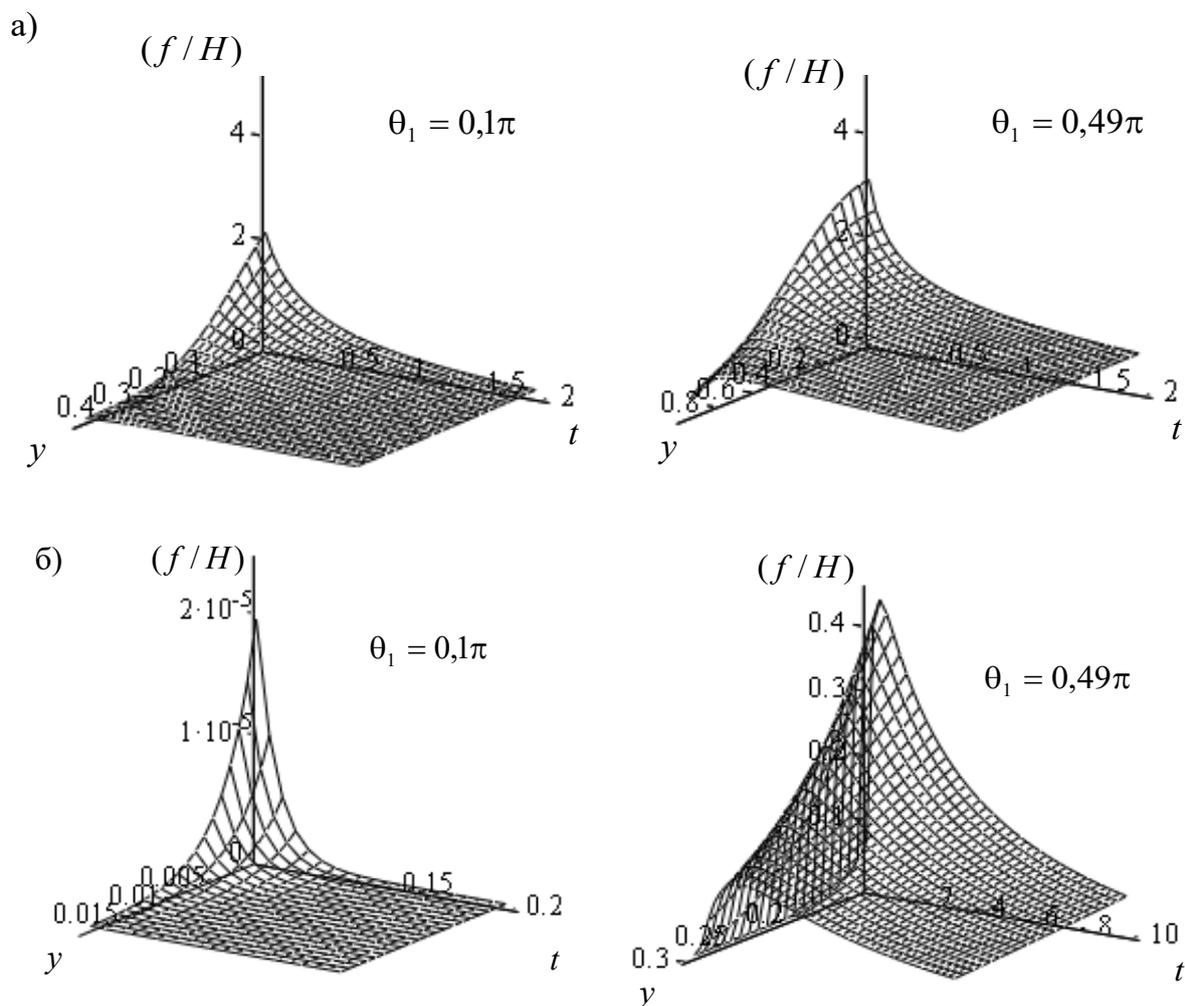


Рисунок 1 – Точечное возмущение: пространственно-временной портрет линии роста (а – медь; б – серебро)

## Литература

1. Strickland, J. On Directional Dendritic Growth and Primary Spacing – A Review / J. Strickland, B. Nenchev // Crystals. – 2020. – 10(7). – P. 627.
2. Шабловский, О. Н. Форма поверхности роста и предвестники ветвления дендрита в переохлажденном расплаве / О. Н. Шабловский, Д. Г. Кроль // Успехи прикладной физики. – 2018. – Т.6, №4. – С. 316–324.

**К. А. Кошара**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)  
Науч. рук. **С. А. Лукашевич**, ст. преподаватель;  
**Г. Ю. Тюменков**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ В BLENDER 3D

Солнечная система – это система планет, вращающихся вокруг центральной звезды – Солнца. Сформировалась путем гравитационного сжатия газопылевого облака около 4,57 млрд. лет назад. Количество планет в Солнечной системе – восемь, и их классификация зависит от того, насколько удалены они от Солнца: а) **внутренние планеты, или же планеты земной группы** – Меркурий, Венера, Земля и Марс; б) внешние планеты, или же так называемые газовые гиганты – Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун и они намного массивнее, чем планеты земной группы.

Список планет Солнечной системы по порядку удаления от Солнца выглядит так: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Среднее расстояние от Солнца: Меркурий – 0,39 а.е.; Венера – 0,72 а.е.; Земля – 1,00 а.е.; Марс – 1,52 а.е.; Юпитер – 5,2 а.е.; Сатурн – 9,54 а.е.; Уран – 19,19 а.е.; Нептун – 30,07 а.е.

Если же перечислять планеты от большей к меньшей по массе, этот порядок меняется: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Земля, Венера, Марс и Меркурий. Диаметры планет: Юпитер – 139800 км; Сатурн – 116000 км; Уран – 50800 км; Нептун – 48600 км; Земля – 12742 км; Венера – 12100 км; Марс – 6794 км; Меркурий – 4878 км.

Четыре ближайšie к Солнцу планеты состоят в большинстве своём из тяжелых элементов. В большей степени они состоят из тугоплавких минералов – силикатов, которые формируют их кору и мантию, и металлов – железо, никель, – которые формируют их ядро. У трех из этих планет – Венеры, Земли и Марса – есть атмосфера. **Меркурий** – ближайшая планета к Солнцу и самая небольшая планета системы. Спутники у него отсутствуют. **Венера** – близка по размерам к Земле, имеет толстую силикатную оболочку вокруг железного ядра и атмосферу. У Венеры, как и у Меркурия, так же нет спутников. Земля – самая крупная и самая плотная из планет земной группы. Среди планет земной группы Земля является уникальной наличием гидросферы. Атмосфера Земли кардинально отличается от атмосферы других планет – она содержит свободный кислород. У Земли есть спутник – Луна. Марс – меньше Земли и Венеры. У него есть атмо-

сфера, состоящая главным образом из углекислого газа. На поверхности Марса имеются вулканы, самый большой из которых назван Олимп, он превышает размерами все земные вулканы, достигая высоты 21,2 км.

Внешняя область Солнечной системы является местом нахождения газовых гигантов и их спутников. Юпитер – обладает массой в 318 раз больше земной, и в 2,5 раза массивнее всех остальных планет вместе взятых. Он состоит главным образом из водорода и гелия. У Юпитера насчитывается 67 спутников. Сатурн – известен своей обширной системой колец. Это наименее плотная планета Солнечной системы. У Сатурна открыто 62 спутника. Уран – седьмая планета от Солнца, он самый легкий из планет-гигантов. Уникален он среди других планет тем, что вращается при наклоне оси его вращения к плоскости эклиптики в 98 градусов. У Урана имеется 27 спутников. Нептун – последняя планета в Солнечной системе. Он несколько меньше Урана, но более массивен и поэтому более плотный. У Нептуна 14 спутников.

Одной из наиболее популярных и востребованных программ для 3D моделирования считается Blender 3D [1–2]. Это многофункциональный софт, знакомство с которым будет полезно тем, кто только вступает в мир трехмерной графики и стремится понять основные принципы работы этой отрасли. Blender 3D – бесплатный программный софт, он предназначен для создания и редактирования трехмерной графики. Программа имеет открытый исходный код и доступна совершенно бесплатно всем желающим. Эти особенности сделали программу крайне популярной как среди начинающих пользователей, так и среди настоящих профессионалов моделирования. Blender 3D часто выбирают в качестве основного рабочего инструмента для больших и серьезных проектов.

В Blender представлены практически все опции, доступные пользователям профессиональных сборок. Люди, которые пользуются Blender с самых его истоков, могут проследить влияние сразу нескольких разных программ, от которых Blender взял для себя понемногу. Однако при этом приложение не потеряло своей самостоятельности и индивидуальности. С момента своего появления и до сегодняшнего дня программа Blender регулярно обновляется и дополняется новыми функциями. У нее появлялось все больше пользователей, которые очень высоко оценивали представленный инструментарий. Среди преимуществ Blender 3D чаще всего выделяют: а) быстрота – программа запускается быстрее своих конкурентов и моментально ре-

агирует на все команды даже на не очень мощных системах; б) функциональность – в отличие от большого количества аналогов, Blender заранее включает в себя все необходимые инструменты для решения самых разных задач; в) универсальность – с помощью инструментов Blender пользователь может создавать объекты для игр, мультфильмов или кинолент, даже предусмотрено некоторое подобие анимации, но оно находится не на очень высоком уровне; г) быстрый внутренний рендерер Cycles – эта подсистема прекрасно функционирует как на GPU, так и на CPU и разработчики Blender внедрили данную возможность задолго до того, как она стала признанным стандартом; д) продвинутый UI – в Blender этот компонент действительно удобный и понятный, тогда как интерфейс большинства конкурентов выглядит устаревшим.

Blender представляется крайне мощной системой 3D моделирования, открытый код которой позволяет пользоваться всеми функциями бесплатно. С профессиональным софтом Blender пока что тягаться не может, однако все равно остается одной из лучших альтернатив. Этот софт подойдет как для новичков, так и для тех, кто не планирует превращать объемную графику в полноценный источник дохода.

В результате использования программы Blender 3D получилось смоделировать модель Солнечной системы.

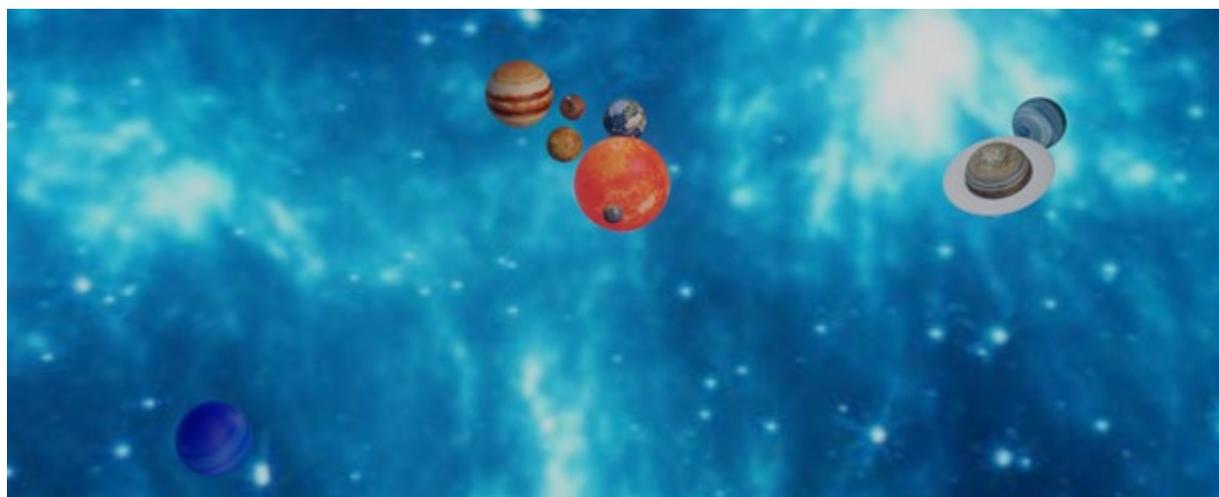


Рисунок 1 – Модель Солнечной системы в Blender 3D

## Литература

1. Твой помощник в учебе [Электронный ресурс] / Сайт Образовака.ру. – URL: <https://obrazovaka.ru>. – Дата доступа: 24.02.2022.

2. Junior [Электронный ресурс] / Сайт о 3D. – URL: <https://junior3d.ru>. – Дата доступа: 24.02.2022.

**В. Р. Куриленко**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **С. А. Лукашевич**, ст. преподаватель;

**А. А. Панков**, д-р физ.-мат. наук, профессор

## **РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОН АННИГИЛЯЦИИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ RUTHIA**

Программа Pythia 8.2 [1] является стандартным инструментом для генерации высокоэнергетических столкновений (в частности, она фокусируется на энергиях центра масс, превышающих примерно 10 ГэВ), включающим согласованный набор физических моделей для эволюции из нескольких тел высокоэнергетического («жесткого») процесса рассеяния к сложному многоадронному конечному состоянию. Частицы образуются в вакууме. Моделирование взаимодействия полученных частиц с материалом детектора не включено в Pythia, но при необходимости может быть выполнено путем сопряжения с внешними кодами моделирования детектора.

Цель программы Pythia является моделирование процессов столкновения элементарных частиц при высоких энергиях на ускорителях элементарных частиц методом Монте-Карло.

Основной аннигиляционный процесс – номер 1,  $e^+e^- \rightarrow Z^0$  [2], где фактически включена полная интерференционная структура  $\gamma^*/Z^0$ . Этот процесс может использоваться с достаточной степенью достоверности получаемых результатов в любом будущем линейном ускорителе.

Целью работы является овладения навыков работы с программой Pythia на примере расчета простейших процессов электрон-позитрон аннигиляции, в частности процесса аннигиляционного рождения мюонных пар. В работе вычисляются базовые физические наблюдаемые величины, такие как полное сечение и асимметрия вперед-назад с использованием как программы Pythia, так и хорошо известных аналитических выражений для указанных наблюдаемых в рамках Стандартной модели.

Для расчета исследуемых процессов необходимо задать следующие параметры:

Beams:eCM – энергия столкновения;  
 Beams:idA и Beams:idB – код частицы в PDF;  
 PartonLevel:MPI – отключение многопартонного взаимодействия;  
 PartonLevel:ISR – отключение начального излучения;  
 PartonLevel:FSR – отключение конечного излучения;  
 WeakSingleBoson:ffbar2ffbar(s:gmZ) – задание реакции.

```

Pythia pythia;
pythia.readString("Next:numberCount=0");
pythia.settings.parm("Beams:eCM", ee);
pythia.readString("Beams:idA = 11.");
pythia.readString("Beams:idB = -11.");
pythia.readString("PartonLevel:MPI = off");
pythia.readString("PartonLevel:ISR = off");
pythia.readString("PartonLevel:FSR = off");
pythia.readString("SigmaProcess:alphaEMorder = -1");
pythia.readString("WeakSingleBoson:ffbar2ffbar(s:gmZ) = on");
pythia.readString("WeakZ0:gmZmode = 0");
pythia.readString("23:onMode = off");
pythia.readString("23:onIfAny = 13");
pythia.readString("22:onMode = off");
pythia.readString("22:onIfAny = 13");
pythia.readString("PDF:lepton = off");
pythia.init();

```

Рисунок 1 – Инициализация процесса

```

nPos=0;
nNeg=0;
for (int iEvent = 0; iEvent < numEvent; ++iEvent)
{
  if (!pythia.next())
    continue;
  i11=0;
  for (int i = 0; i < pythia.event.size(); ++i)
  {
    if(pythia.event[i].isFinal() && pythia.event[i].id() == 13)
    {
      i11=i;
    }
  }
  k1=pythia.event[i11].p();
  if(k1.pz()>=0.)
  {
    nPos++;
  }
  else
  {
    nNeg++;
  }
  num++;
  if ((iEvent + 1) % (numEvent / 10) == 0)
  {
    cout << iEvent + 1 << " events have been generated." << endl;
  }
}
asym=(double)(nPos-nNeg)/(nPos+nNeg);
pythia.stat();
sigmatot = pythia.info.sigmaGen()*1e-3;

```

Рисунок 2 – Расчет сечения и асимметрии вперед-назад

Результаты численного анализа представлены в таблице 1, где содержатся результаты численного расчета процесса, выполненные с помощью Pythia и аналитических формул.

Таблица 1 – Расчеты физических наблюдаемых, выполненные с помощью Pythia и аналитических формул

$\sqrt{S}$ , ГэВ	$\sigma$ , pb			AFB		
	Pythia 1000 событий	Pythia 10000 событий	Аналити- ческий расчет	Pythia 1000 событий	Pythia 10000 событий	Аналити- ческий рас- чет
50	40,267	40,168	40,105	-0,258	-0,217	-0,222
100	52,737	53,190	52,937	0,616	0,585	0,587
150	5,701	5,81	5,778	0,654	0,625	0,638
200	2,935	3,002	2,961	0,548	0,547	0,556
250	1,804	1,874	1,842	0,5	0,51	0,523
300	1,225	1,283	1,263	0,494	0,499	0,506
350	0,897	0,931	0,921	0,466	0,481	0,496
400	0,682	0,711	0,702	0,458	0,474	0,489
450	0,539	0,560	0,553	0,454	0,470	0,485
500	0,436	0,453	0,447	0,436	0,467	0,482

Из информации, содержащейся в таблице 1, можно сделать вывод, что результаты расчетов, выполненных с помощью Pythia, совпадают с расчетами, выполненными на основе аналитических выражений для наблюдаемых с достаточным уровнем точности.

## Литература

1. Documentation for PYTHIA 8.307 [Электронный ресурс] // Официальный сайт PYTHIA. – URL: <https://pythia.org/>. – Дата доступа: 24.03.2022.
2. Pankov, A. A. High-precision limits on  $W$ – $W'$  and  $Z$ – $Z'$  mixing from diboson production using the full LHC Run 2 ATLAS data set / A. A. Pankov, P. Osland, I. A. Serenkova, V. A. Bednyakov // Eur. Phys. J. C. – 2020. – 80. – no. 6, pp. 503–525.

**Н. Г. Малашков**  
(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)  
Науч. рук. **М. И. Лискович**, ст. преподаватель

## АНАЛИЗ ПЕРЕДАТОЧНОГО ОТНОШЕНИЯ ЦЕПНОЙ ПЕРЕДАЧИ С ЭЛЛИПСОИДНОЙ ВЕДУЩЕЙ ЗВЕЗДОЙ

В некоторых гоночных моделях велосипедов встречается применение ведущей овальной звезды в цепной передаче (рисунок 1). При применении звезды эллипсоидной формы достигается более равномерное распределение нагрузок – снижение их при горизонтальном положении «шатунов» и увеличение при вертикальном. А к недостаткам можно отнести дополнительные нагрузки на вал каретки, а также не постоянное передаточное отношение.

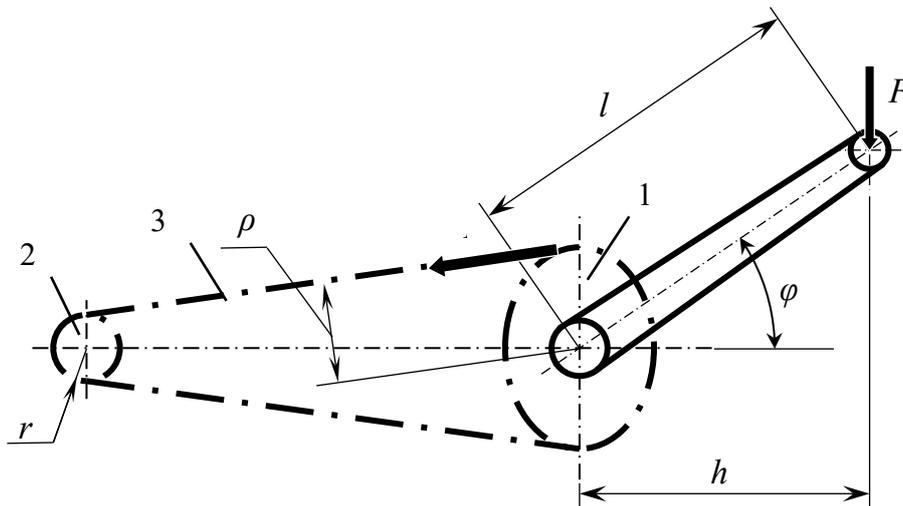


Рисунок 1 – Схема цепной передачи с ведущей овальной звездой:  
1 – ведущая овальная звезда; 2 – ведомая звезда; 3 – цепь

Обычно передаточное отношение рассчитывается, как отношение угловой скорости ведущего звена 1 к угловой скорости ведомого звена 2.

$$u = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (1)$$

Или, если речь идёт о зубчатых передачах, как отношение чисел зубьев ведомого звена 2 к угловой скорости ведущего звена 1

$$u = \frac{z_2}{z_1} \quad (2)$$

В нашем случае ни тот, ни другой способ не подходят, так как мы имеем входное звено с переменным радиусом.

Воспользуемся формулой, в которой передаточное отношение находят как отношение радиусов входного и выходного звеньев цепной передачи.

$$u = \frac{\rho}{r} \quad (3)$$

В работе [1] определили график изменения движущего момента, действующего на цепь на валу с ведущей звездой. Учитывая, что при постоянном движущем моменте изменение радиуса кривизны эллипсоидной звезды будет иметь аналогичный вид, получаем следующий график (рисунок 2).

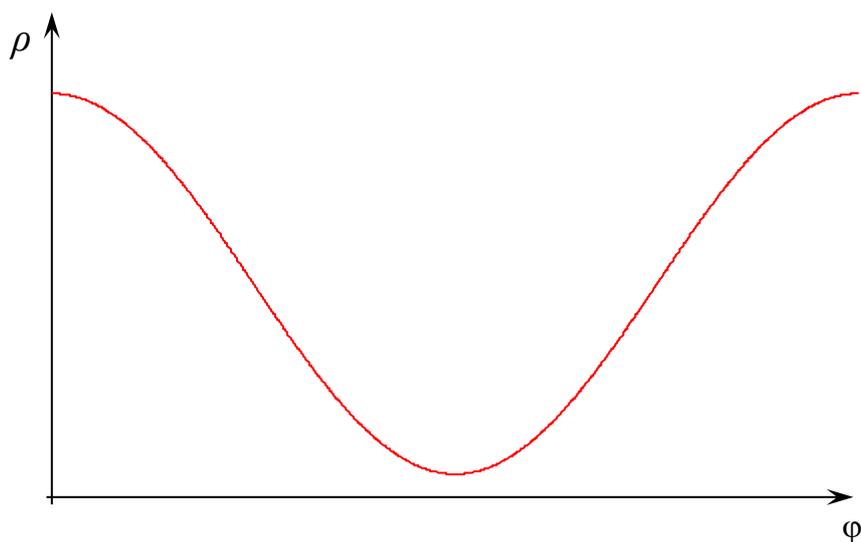


Рисунок 2 – График изменения радиуса кривизны эллипсоидной звезды

При постоянном значении радиуса  $r$  ведомой звезды и переменном радиусе  $\rho$  ведущей звезды получим для средних стандартных значений, что передаточное отношение, рассчитанное для максимального и минимального значения, изменяется достаточно значительно – 44 %.

Полученный результат говорит о том, что выгода от эллипсоидной ведущей звезды в цепной передаче нивелируется большим непостоянством передаточного отношения. Чтобы уменьшить неравномерность передаточного отношения необходимо подобрать такую форму ведущего, а возможно, и ведомого звена цепной передачи, при которой будут исключены непостоянство передаточного отношения и одно-

временно будет достигаться равномерное распределение нагрузок – снижение их при горизонтальном положении «шатунов» и увеличение при вертикальном.

## Литература

1. Лискович, М. И. Анализ работы эллипсоидной звезды в цепной передаче / М. И. Лискович, Д. А. Максименко // Актуальные вопросы физики и техники: X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов : материалы: в 2 ч. Ч. 1. (Гомель, 22 апр. 2021 г.) / ГГУ им. Ф. Скорины ; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 305–308.

**М. В. Маркова**  
(БелГУТ, Гомель)

Науч. рук. **Д. В. Леоненко**, д-р физ.-мат. наук, профессор

## **МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОЛЕБАНИЙ КРУГОВОЙ ТРЁХСЛОЙНОЙ СТУПЕНЧАТОЙ ПЛАСТИНЫ**

Современное конструирование ориентировано на создание элементов, обладающих высокими показателями не только с физико-механической точки зрения, но и с экономической. Трёхслойные элементы конструкций позволяют обеспечить высокую прочность и жёсткость, обладая при этом минимальным собственным весом и наделяя конструкцию дополнительными свойствами: тепло- и звуко-изоляцией, электромагнитной проницаемостью и т.д. Исследованию статического и динамического деформирования трёхслойных пластин посвящено немало работ как отечественных, так и зарубежных авторов. Однако все они относятся к пластинам, имеющим постоянную толщину.

Рассмотрим процесс колебания трёхслойной круговой ступенчатой пластины, возбуждаемый внешним воздействием  $q(r,t)$ . Пластина образована соединением прочных и жёстких внешних несущих слоёв (толщиной  $h_1$  и  $h_2$ ) со срединным заполнителем ( $h_3 = 2c$ ), обеспечивающим перераспределение усилий между слоями и их совместную работу. В работе [1] представлен вывод системы дифференциальных уравнений, позволяющих моделировать процесс колебания трёхслойной пластины произвольной переменной толщины: определять пере-

мещение любой точки, и возникающие при этом в пластине внутренние усилия. Построение механико-математической модели базировалась на вариационном принципе Гамильтона [2], а деформирование пластины описывалось согласно гипотезе «ломаной нормали».

Ступенчатая пластина является частным случаем пластины переменной толщины и представляет собой совокупность сопряжённых прямолинейных участков (рисунок 1).

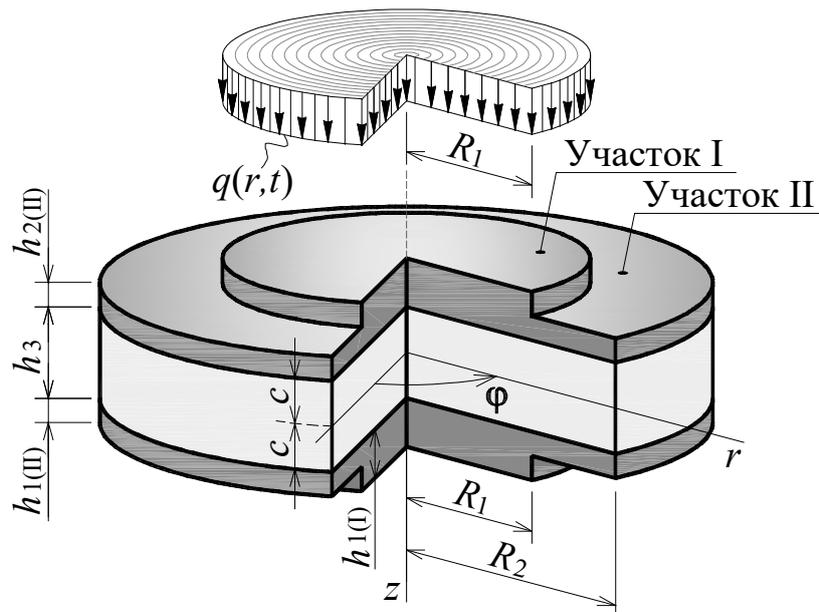


Рисунок 1 – Круговая ступенчато-выпуклая трёхслойная пластина

При  $h_k = \text{const}$  система уравнений, описывающая перемещения в пластине в процессе колебаний, после некоторых математических преобразований будет иметь вид

$$\Delta \Delta w + Dm \Delta \ddot{w} + DM_1 \ddot{w} = Dq;$$

$$\psi = b_2 w_{,r} + C_3 r + \frac{C_4}{r} - \frac{m_2}{r} \int r \ddot{w} dr; \quad u = b_1 w_{,r} + C_1 r + \frac{C_2}{r} - \frac{m_1}{r} \int r \ddot{w} dr,$$

здесь  $w$ ,  $\psi$  и  $u$  – прогиб пластины, относительный сдвиг в заполнителе и радиальное перемещение координатной поверхности соответственно;  $\Delta$  – дифференциальный оператор Лапласа;  $M_1$ ,  $m_i$ ,  $b_i$  и  $D$  – коэффициенты, зависящие от плотности, упругих свойств материалов и толщины слоёв пластины;  $C_i$  – константы интегрирования.

Для каждого участка ступенчатой пластины имеется своё решение относительно перемещений и внутренних усилий. Общее для пластины решение может быть построено с помощью смещённой функции Хевисайда ( $H_0$ ):

$$w = w_{(I)} + (w_{(II)} - w_{(I)}) \cdot H_0(r - R_1);$$

$$\psi = \psi_{(I)} + (\psi_{(II)} - \psi_{(I)}) \cdot H_0(r - R_1); u = u_{(I)} + (u_{(II)} - u_{(I)}) \cdot H_0(r - R_1).$$

Точка изменения толщины пластины также формирует пакет дополнительных граничных условий, служащих для определения неизвестных констант интегрирования, полученных в результате решения системы дифференциальных уравнений. Так, кроме граничных условий, обусловленных способом опирания пластины, необходимо дополнительно потребовать равенства в точке изменения толщины (при  $h_{1(I)} \rightarrow h_{1(II)}$ ;  $h_{2(I)} \rightarrow h_{2(II)}$ ) всех возникающих перемещений и внутренних усилий:  $u_{(I)} = u_{(II)}$ ,  $\psi_{(I)} = \psi_{(II)}$ ,  $w_{(I)} = w_{(II)}$ ,  $w_{,r(I)} = w_{,r(II)}$ ,  $T_{r(I)} = T_{r(II)}$ ,  $M_{r(I)} = M_{r(II)}$ ,  $H_{r(I)} = H_{r(II)}$  и  $Q_{(I)} = Q_{(II)}$ .

Используя метод Фурье [3], в [4] получено выражение, определяющее функцию прогиба собственных колебаний плоской трёхслойной пластины, также справедливое и для каждого прямолинейного участка ступенчатой пластины:

$$w_{(i)} = \left[ C_5 I_0(r\gamma^+) + C_6 K_0(\gamma^+) + C_7 J_0(r\gamma^-) + C_8 Y_0(r\gamma^-) \right] \times$$

$$\times (A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t)),$$

где  $\gamma^\pm$  – коэффициенты, зависящие от частоты колебаний пластины  $\omega$ ;  $I_0(r)$ ,  $K_0(r)$ ,  $J_0(r)$  и  $Y_0(r)$  – функции Бесселя от действительного и мнимого аргумента;  $C_i$  – константы интегрирования, определяемые из граничных условий;  $A$  и  $B$  – константы интегрирования, определяемые из начальных условий.

В случае, если внешнее воздействие  $q(r,t)$ , выводящее пластину из состояния равновесия, представлено многочленом первой степени по переменной  $t$ , функцию прогиба плоской трёхслойной пластины (участка ступенчатой пластины) можно записать в виде:

$$w_{(i)} = \left[ C_5 I_0(r\gamma^+) + C_6 K_0(\gamma^+) + C_7 J_0(r\gamma^-) + C_8 Y_0(r\gamma^-) \right] \times \\ \times (A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t)) + C_{9(I,II)} + C_{10(I,II)} r^2 + C_{11(I,II)} \ln r + C_{12(I,II)} r^2 \ln r + \\ + D \int \frac{1}{r} \int r \int \frac{1}{r} \int (rq) dr dr dr dr.$$

*Работа выполнена в рамках ГПНИ «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении».*

### Литература

1. Маркова, М. В. Постановка начально-краевой задачи об осесимметричных колебаниях круговой трёхслойной пластины переменной толщины / М. В. Маркова, Д. В. Леоненко // Теоретическая и прикладная механика : междунар. науч.-техн. сб. – Минск, 2021. – Вып. 36. – С. 3–10.
2. Новацкий, В. Теория упругости / В. Новацкий. – Москва : Мир, 1975. – 872 с.
3. Араманович, И. Г. Уравнения математической физики / И. Г. Араманович, В. И. Левин. – Москва : Наука, 1969. – 288 с.
4. Маркова, М. В. Инерционная математическая модель динамического деформирования круговой трёхслойной ступенчатой пластины / М. В. Маркова // Известия Гомельского гос. ун-та им. Ф. Скорины. Естественные науки. – 2021. – № 6(129). – С. 164–170.

**И. С. Михалко**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **И. В. Семченко**, д-р физ.-мат. наук, профессор

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИЛ В СЕЧЕНИЯХ ДВОЙНОЙ ДНК-ПОДОБНОЙ СПИРАЛИ ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ РЕЗОНАНСЕ**

В изучении взаимодействия двойной ДНК-подобной спирали с электромагнитным полем немалый интерес вызывают силы, возникающие в двух ветвях спирали под воздействием внешних полей, обусловленные распределением токов и зарядов вдоль спиральных линий. Силы, возникающие в ветвях очень длинной спирали, рассмот-

рены, в частности, в работе [1]. В работе [2] приводятся найденные соотношения для силы и момента, действующих на бесконечную (очень длинную) ДНК-подобную спираль. При этом рассматривался низкочастотный резонанс, при котором полная длина спиральной нити приблизительно равна половине длины волны электромагнитного поля.

В данной статье рассмотрены силы, возникающие на участке спирали, где находится пучность заряда, т.е. максимум электрического заряда и минимум тока, для другой, более высокой резонансной частоты возбуждения, при которой длина волны электромагнитного поля приблизительно равна длине витка спирали.

Ранее, на основе одной из теоретических моделей были выведены соотношения для компонент сил в центре очень длинной спирали, в которых в качестве переменных величин выступают как угол подъёма спирали, так и частота волны.

В данной работе мы используем результаты, полученные при компьютерном моделировании в программе Ansys Electronics Desktop.

Рассмотрим 2,5-витковую двойную ДНК-подобную спираль со следующими параметрами: шаг спирали  $h = 3,4$  мм, угол подъёма спирали  $\alpha = 28,4^\circ$  градусов, радиус спирали  $r = 1$  мм. На длине спирали уместится нечетное число полувитков, в данном случае 5; резонансная частота, при которой длина волны равна длине витка, составляет примерно 42 ГГц.

Модель спирали показана на рисунке 1.

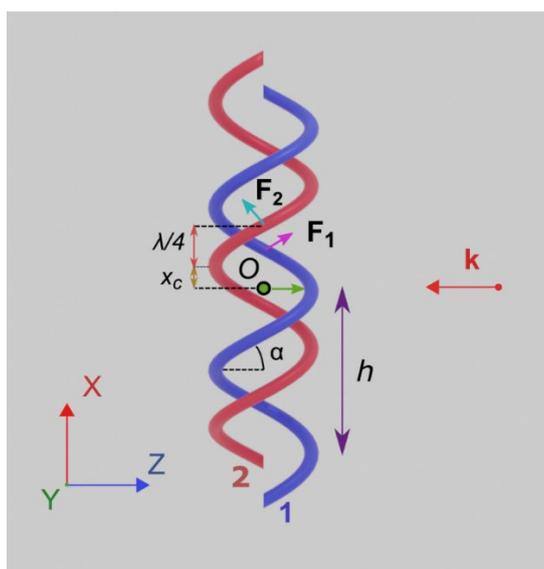


Рисунок 1 – Модель 2,5-витковой ДНК-подобной спирали в поле падающей электромагнитной волны с волновым вектором  $\mathbf{k}$

При условии, что длина волны падающего излучения равна длине одного витка спирали, участки с наибольшей плотностью электрического заряда будут находиться на расстоянии  $\pm \lambda/4$  от центра спирали. Рассмотрим результаты моделирования для компонент сил в сечениях спирали на расстоянии  $+\lambda/4$  от центра спирали.

Общая тенденция такова, что по абсолютной величине силы убывают с увеличением частоты. На частоте около 42 ГГц на всех графиках наблюдается самый слабый резонанс из рассматриваемых. Также наблюдаются резонансы на других частотах, из которых самый заметный примерно на частоте около 10 ГГц, особенно для компоненты Y, это так называемый полуволновой резонанс, когда на всей длине спирали уместается приблизительно половина длины волны. Если частота волны равна 26 ГГц, то на всей длине спирали укладывается приблизительно 3 полуволны, что также приводит к резонансному взаимодействию нитей.

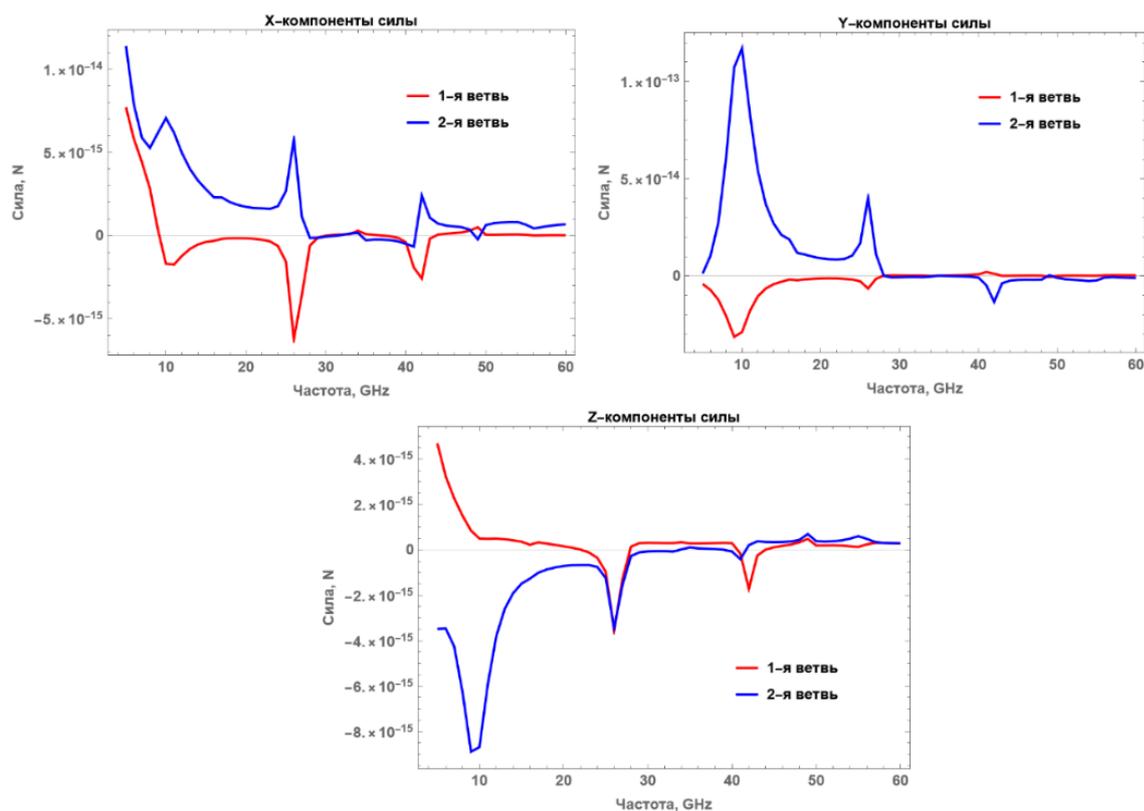


Рисунок 2 – Компоненты сил, возникающих в ветвях спирали в местах максимума электрического заряда

На графиках достаточно хорошо представлены все резонансные частоты. Графики для X-компонент сил показывают, что на всех ре-

зонансных частотах (10, 26 и 42 ГГц) имеет место отталкивание двух нитей вдоль оси двойной спирали. Из графиков для Y-компонент сил, в свою очередь, следует, что для частот 10 и 26 ГГц имеет место взаимное радиальное отталкивание двух нитей, а для частоты 42 ГГц возникает относительно слабое взаимное радиальное притяжение двух спиралей. Графики для Z-компонент сил показывают, что для всех резонансных частот (10, 26 и 42 ГГц) существует сила давления электромагнитной волны на двойную спираль как целое.

### Литература

1. Optical Forces Acting on a Double DNA-Like Helix, Its Unwinding and Strands Rupture / I. Semchenko, S. Khakhomov, S. Tretyakov, A. Balmakou, I. Faniaeu, I. Mikhalka // Photonics. – 2020. – vol. 7. <https://doi.org/10.3390/photonics7040083>.
2. Interaction forces of electric currents and charges in a double DNA-like helix and its equilibrium / I. V. Semchenko, S. A. Khakhomov, A. P. Balmakou and I. S. Mikhalka // Proc. Metamaterials' 2018, p.281-283, Espoo, Finland, Aug.28 – Semp.1, 2018.

**Е. Д. Пискунова**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **И. В. Семченко**, д-р физ.-мат. наук, профессор

### **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ХЕЛИКАЗЫ В ПРОГРАММЕ BLENDER**

**Хеликазы** (иногда геликазы, от англ. helicase) – класс ферментов, которые имеются у всех живых организмов. Их относят к классу «молекулярных машин», поскольку они используют энергию гидролиза нуклеотидтрифосфатов (АТФ, ГТФ) для движения вдоль сахарофосфатного остова нуклеиновых кислот (ДНК, РНК, гибридов между ДНК и РНК) и разрыва внутри- или межмолекулярных водородных связей между основаниями.

Одной из главных функций хеликазы, которая рассматривается в данной работе, является разделение цепей двухцепочечной молекулы ДНК с использованием энергии гидролиза АТФ или ГТФ. Движение фермента вдоль цепи нуклеиновой кислоты может происходить как в

направлении  $5' \rightarrow 3'$ , так и в направлении  $3' \rightarrow 5'$ , в зависимости от конкретной хеликазы.

В клетках животных и растений многие процессы требуют разделения цепей и расплетения биополимеров вторичной структуры нуклеиновых кислот. Этими процессами являются – репликация ДНК, рекомбинация, репарация ДНК, транскрипция, сплайсинг, трансляция.

На рисунке 1 видно, как хеликаза (оранжевого цвета) действует на молекулу ДНК. Она расщепляет двуспиральную молекулу ДНК на две отдельные спирали, к которым в дальнейшем, с помощью другого фермента-сцепки, присоединятся отдельные спирали ДНК.

Также на рисунках 1 и 2 изображены векторы сил, действующих на геликазу и на уже разделённые спирали молекулы ДНК. Также показан индуцированный заряд спиралей: положительный и отрицательный. Это сделано для того, чтобы в дальнейшем указать вектор электрического дипольного момента системы, учитывая ее электрические свойства.

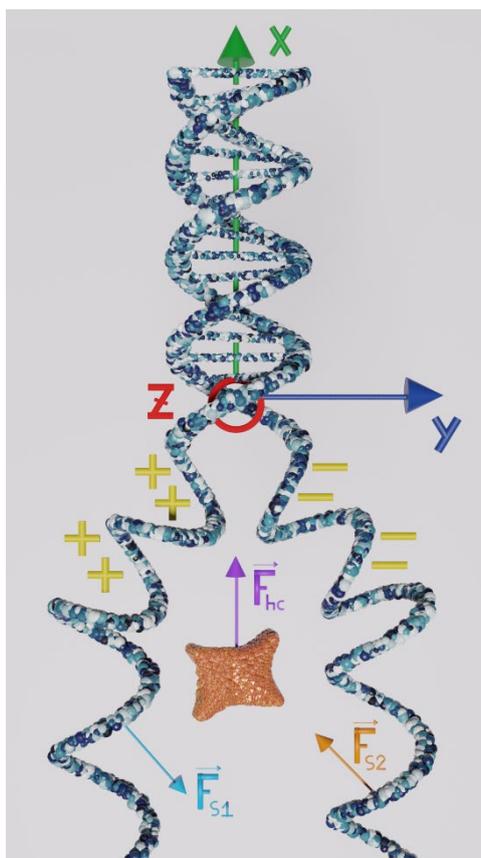


Рисунок 1 – Схематическое изображение процесса репликации молекулы ДНК ферментом хеликазой

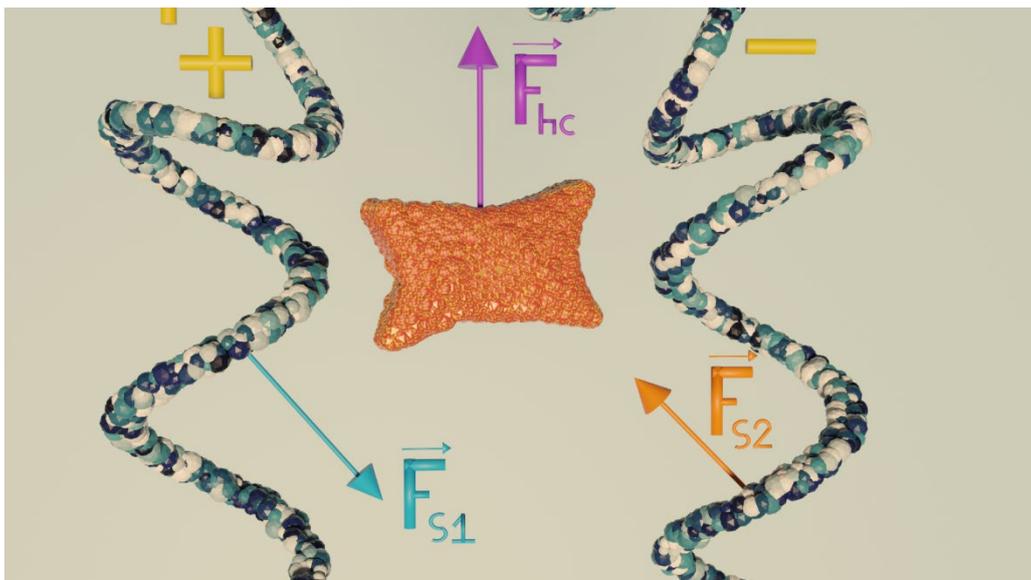


Рисунок 2 – Приближенный вид хеликазы и векторы сил

Для создания 3D модели фермента хеликаза использована программа Blender (версия 3.0) – профессиональное свободное и открытое программное обеспечение для создания трёхмерной компьютерной графики, включающее в себя средства моделирования, скульптинга, анимации, симуляции, рендеринга, постобработки и монтажа видео со звуком, компоновки с помощью «узлов», а также создания 2D анимации [2].

Интерфейс программы с проектом модели ДНК и хеликазы показан на рисунке 3.

В программе есть много различного функционала, кнопок, упрощающих работу с моделями. Огромное количество функций скрыто под отдельными разделами в панели управления на экране сверху, также полезны сочетания клавиш (Modeling, Sculpting, UV Editing, Texture Paint, Shading, Animation, Compositing, Scripting).

Справа на экране в программе можно увидеть столбец значков-кнопок. При нажатии на любой из них открываются определённые виды свойств и характеристик, которые можно применять к различным объектам, от создания окружающего пространства (мира) и постановки света, до работы с частицами.

В Blender также можно совмещать структуры и материалы с созданными моделями и их частями (в разделе Shading), а также придавать им физические свойства.

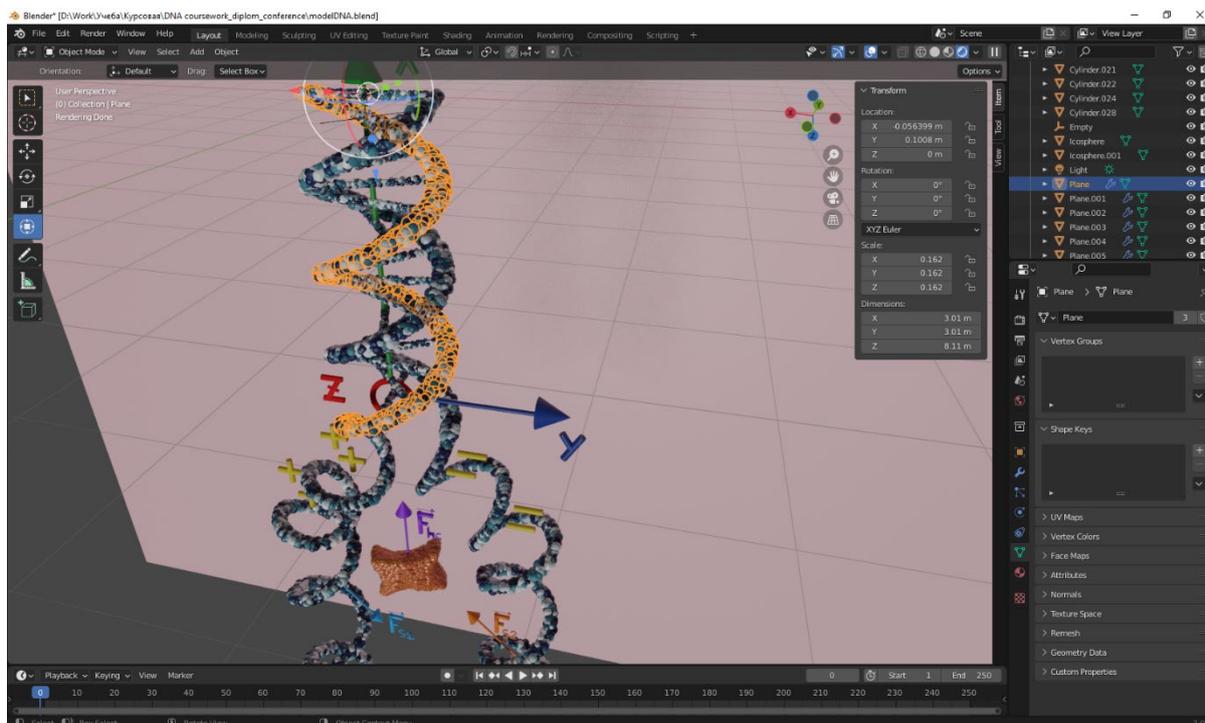


Рисунок 3 – Интерфейс программы Blender

Чтобы максимально точно воссоздать реальную физическую модель фермента геликазы, при создании 3D модели была использована большая часть этого функционала (рисунок 3).

Программа Blender может быть применена для создания любой модели или объекта и дальнейшего её внедрения в проекты различной сложности. Возможно использование программы для моделирования процесса идеального компьютерного эксперимента определенной сложности, применения компьютерных моделей на производствах различного типа, от медицины до авиастроения и астрофизики.

## Литература

1. Watson, J. D.; Baker, T. A.; Bell, S. P.; Gann, A.; Levine, M.; Losick, R. Molecular Biology of the Gene / J. D. Watson [et al.]. – Pearson : London, 2013. – 7th ed. – p. 912.

2. Hess Felicia. Практическое пособие. Blender 3.0 для любителей и профессионалов. Моделинг, анимация, VFX. – Солон-пресс, 2022. – 300 с.

**Е. Д. Пискунова**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)  
Науч. рук. **И. В. Семченко**, д-р физ.-мат. наук, профессор;  
**А. Л. Самофалов**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ, АНАЛОГИЧНЫХ МОЛЕКУЛЕ ДНК, В ПРОГРАММЕ MICRO-CAP**

Данная работа была проведена с целью проверки теоретической гипотезы относительно проведенного эксперимента, описанного в работе [1]. Главный вопрос был в следующем: является ли бесконечная электрическая цепь упрощённым аналогом молекулы ДНК, в плане её электропроводности?

Чтобы ответить на этот вопрос, сначала необходимо составить цепь, примерно повторяющую структуру молекулы ДНК. Так как сама молекула представляет собой две закрученные относительно друг друга спирали с азотистыми соединениями между ними (А-аденин, Т-тимин, Г-гуанин, Ц-цитозин), то логично предположить, что электрическая цепь должна иметь схожую структуру.

Чтобы упростить задачу, нужно на первом этапе упростить саму систему, так как молекула ДНК является слишком сложным объектом для моделирования в виде электрической цепи. Вначале представим молекулу ДНК в раскрученном состоянии. Она станет похожей на «лестницу» с чередующимися азотистыми основаниями (нуклеотидами) и водородными связями между ними в виде перегородок-ступенек. На первом этапе будем рассматривать эти основания и водородные связи как резисторы с некоторым эффективным сопротивлением. Предполагается, что все нуклеотиды имеют одинаковое сопротивление 6,7 кОм, и все водородные связи – также одинаковое сопротивление 3000 кОм, эти значения получены в результате расчётов как первое приближение к экспериментальным данным для силы тока [1, 2]. Программа позволяет в дальнейшем варьировать эти эффективные сопротивления.

На рисунке 1 представлена схема электрической цепи, построенной в программе Micro-Cap (значок  обозначает резистор).

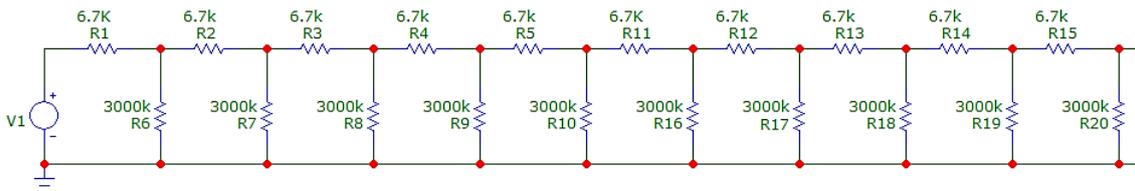


Рисунок 1 – Схема бесконечной электрической цепи, аналогичная упрощенной молекуле ДНК в плане её электропроводности

Micro-Cap – SPICE-подобная программа для аналогового и цифрового моделирования электрических и электронных цепей с интегрированным визуальным редактором [3]. Она позволяет создавать как простые, так и очень сложные электрические цепи, имеет большое количество видов анализа электронных схем (Transient, AC, DC, Dynamic DC, Dynamic AC, DC OP Worst Case, Transfer Function, Harmonic Distortion, Intermodulation Distortion, Stability, Probe Transient, Probe AC, Probe DC). Также программа располагает всеми аналоговыми и цифровыми элементами, которые существуют, а также их разновидностями, например, операционный усилитель LF156, LH2101A.

Micro-Cap позволяет новичку начать моделирование электронных устройств даже без глубокого изучения особенностей этой программы. Интерфейс MC9, MC10, MC11, MC12 является стандартным для программ ОС Windows.

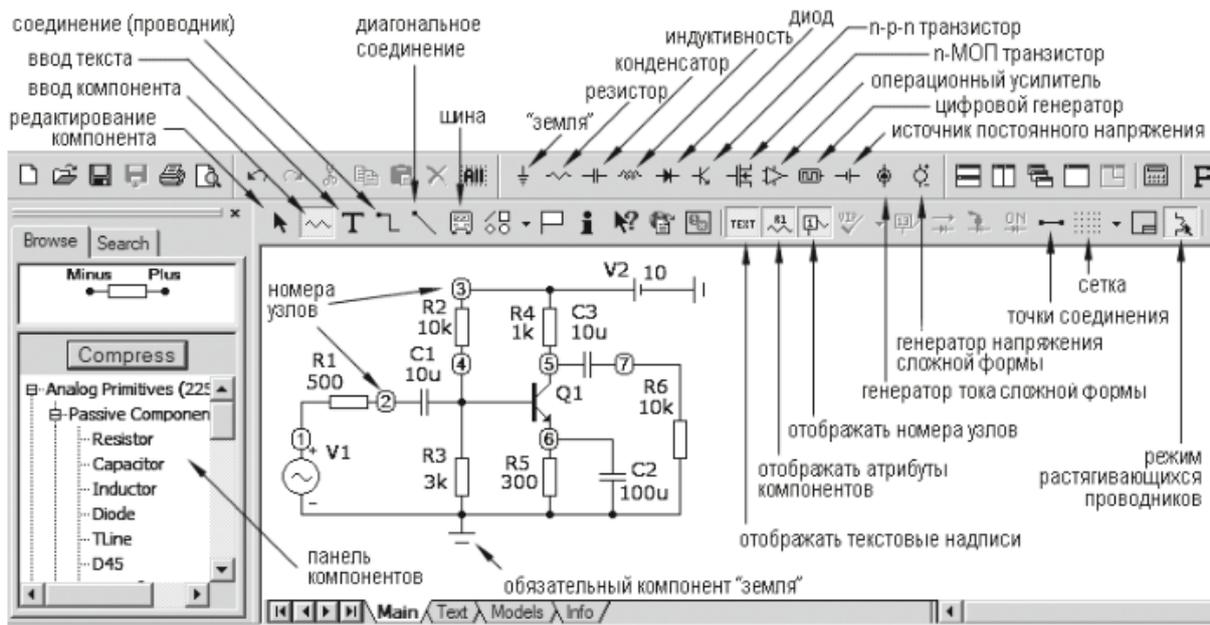


Рисунок 2 – Назначение элементов главного окна программы Micro-Cap

Все команды можно вызвать через меню. Наиболее часто используемые выведены на панели в виде ярлычков (пиктограмм). Кроме того, многие команды можно вызывать горячими клавишами.

Далее начнем анализировать нашу электрическую цепочку. На рисунке 3 представлена та же схема, что и на рисунке 1, только уже с посчитанными значениями силы тока и напряжения.

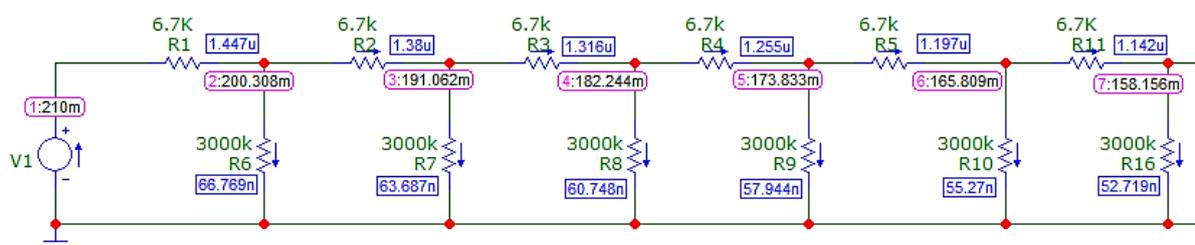


Рисунок 3 – DC анализ бесконечной ДНК-подобной электрической схемы

В синей рамке показаны токи, в розовой – напряжение. Также программа автоматически рассчитывает и рисует на схеме направление токов на элементах.

DC Analysis – это анализ передаточных функций эквивалентной схемы замещения для постоянных составляющих токов и напряжений. Он используется в основном для построения вольтамперных характеристик (ВАХ) полупроводниковых и электронных приборов. В этом режиме к входам цепи подключается один или два независимых источника постоянного напряжения или тока. В качестве выходного сигнала может рассматриваться разность узловых потенциалов или ток через ветвь, в которую включен резистор. При выполнении расчета программа автоматически создает схему замещения – закорачивает индуктивности, исключает из схемы конденсаторы, а затем рассчитывает режим по постоянному току при нескольких значениях входных сигналов. Например, при подключении одного источника постоянного напряжения можно построить график передаточной функции усилителя или ВАХ диода, а при подключении двух источников – семейство статических выходных характеристик транзистора [4].

Поняв, что такое DC Analysis, мы можем с помощью него построить график зависимости напряжения от тока (ВАХ), что мы и сделаем.

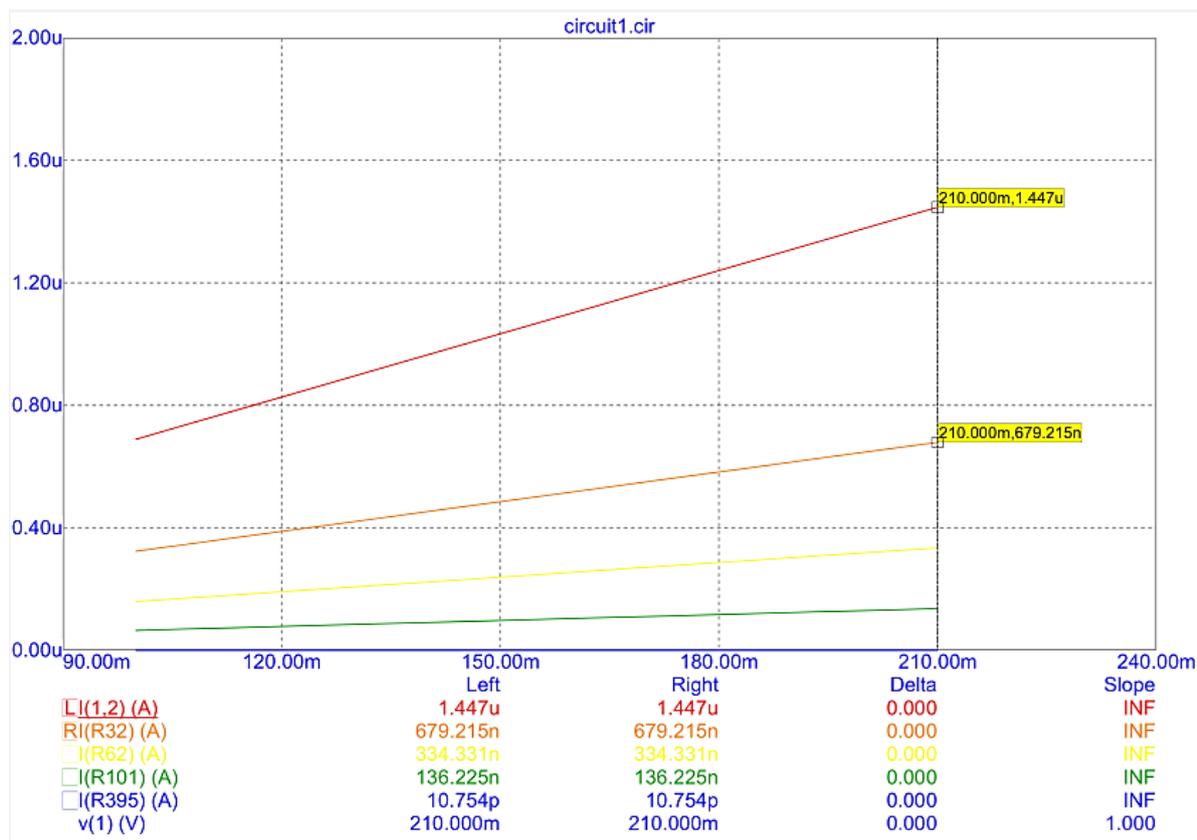


Рисунок 4 – Вольт-амперная характеристика, составленная в программе Micro-Cap

Из графика видно, что ток на первом резисторе имеет порядок микроампер ( $10^{-6}$  A), тогда как уже 17-е звено (резистор R32) имеет ток порядка наноампер ( $10^{-9}$  A). Эти значения силы тока по порядку величины соответствуют экспериментальным данным: при напряжении  $U = 0,2$  В сила тока на первом звене цепи была  $I_1 = 1400$  нА, а на семнадцатом  $I_{17} = 350$  нА [1]. Следовательно, данный вид электрической цепи вполне пригоден для дальнейших исследований.

Остался еще один вопрос, на который необходимо ответить, чтобы подтвердить правильность наших данных. Так как молекула ДНК – это гигантская структура по меркам микромира, и она состоит из сотней тысяч, а иногда даже миллионов соединений азотистых оснований, то нужно определить: при каком числе нуклеотидов можно считать аналогичную цепочку сопротивлений бесконечной?

Так как физика – это наука, по большому счету, постоянных приближений, и для вычисления точных значений любой компьютерной программе необходимо знать конечное число компонентов, то нужно узнать, какое количество звеньев в электрической цепи должно быть, чтобы результат имел хорошую точность результатов.

Чтобы найти эти данные, будем к изначальной цепочке, состоящей из 10 звеньев, прибавлять еще по десять и смотреть, как изменится значение тока на первом резисторе. Исходя из этих данных, построим зависимость силы тока на первом резисторе от количества звеньев в цепи:

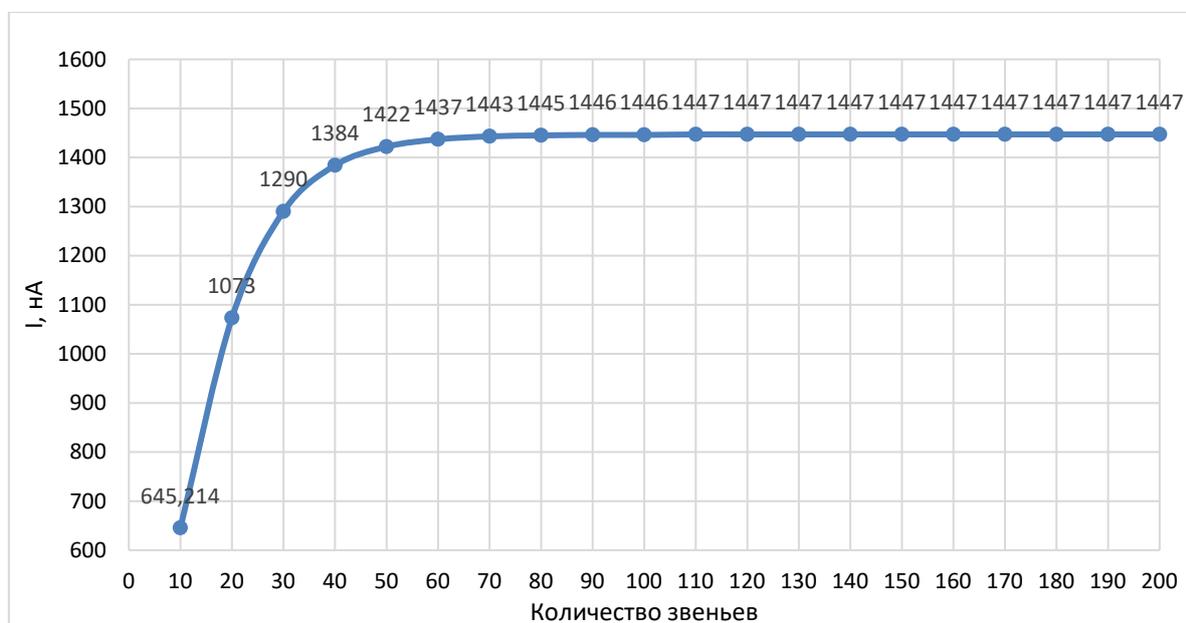


Рисунок 5 – Зависимость силы тока на первом резисторе от числа звеньев в цепи

Как видно из графика, уже начиная со 120–130 звеньев ток на первом элементе не изменяется. Это продолжается, даже если количество элементов увеличить еще вдвое или втрое, картина останется прежней, так как на таких количествах элементов цепи изменения силы тока уже выражаются в пикоамперах ( $10^{-12}$ ) и фемптоамперах ( $10^{-15}$ ).

Теперь мы можем считать наши данные верными, поскольку мы определили, при каком числе нуклеотидов можно считать аналогичную электрическую цепь бесконечно длинной. За это значение можно принять приблизительно 130 звеньев, состоящих из параллельно и последовательно соединенных резисторов. Так как реальная молекула ДНК содержит гораздо большее число азотистых оснований, то при исследовании её электропроводности можно применять модель бесконечной цепи.

## Литература

1. Wohlgamuth, C. H. DNA as a Molecular Wire: Distance and Sequence Dependence / C. H. Wohlgamuth, M. A. McWilliams, J. D. Slinker //

Analytical Chemistry. ACS Publications. – Department of Physics, The University of Texas at Dallas. – 2013. – Vol. 85, Iss. 18. – P. 8634–8640.

2. Иродов, И. Е. Задачи по общей физике / И. Е. Иродов. – М. : Наука, 1988. – 416 с.

3. Micro-Cap [Электронный ресурс] // Свободная энциклопедия Википедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Micro-Cap>. – Дата доступа: 22.03.2022.

4. Амелина, М. А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10 : Учебное пособие / М. А. Амелина, С. А. Амелин. – Смоленск, Смоленский филиал НИУ МЭИ, 2012. – 632 с.

**В. В. Ритарева**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **О. М. Дерюжкова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЧЕНИЯ РАССЕЯНИЯ АЛЬФА-ЧАСТИЦ**

Дифференциальное сечение рассеяния альфа-частицы  $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ , которое характеризует вероятность рассеяния, как функцию угла рассеяния  $\theta$ , является достаточно информативной величиной, определяемой в эксперименте. Отклонения альфа-частиц от первоначального направления обусловлены действием кулоновского поля отталкивания со стороны атомных ядер. В случае рассеяния альфа-частицы с энергией  $E$  и зарядом  $Z_1$  на точечном рассеивающем центре с зарядом  $Z_2$  дифференциальное сечение рассеяния, согласно Резерфорду, имеет вид [1]:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left( \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4E} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\theta}{2}}, \quad (1)$$

где  $e$  – элементарный заряд в релятивистской системе единиц  $c = \hbar = 1$ .

Воспользуемся формулой (1) для проверки зависимости дифференциального сечения упругого кулоновского рассеяния альфа-частицы  $D(\theta) = \frac{d\sigma}{d\Omega}$  от угла рассеяния  $\theta$  на тяжелых ядрах платины  ${}_{78}\text{Pt}$  и золота  ${}_{79}\text{Au}$ , а также на легких ядрах алюминия  ${}_{13}\text{Al}$  и кремния  ${}_{14}\text{Si}$ .

Для моделирования дифференциального сечения рассеяния альфа-частиц была использована система компьютерной алгебры Mathcad. Результаты моделирования при трех значениях энергии бомбардирующей ядро-мишень альфа-частицы представлены на рисунках 1–6.

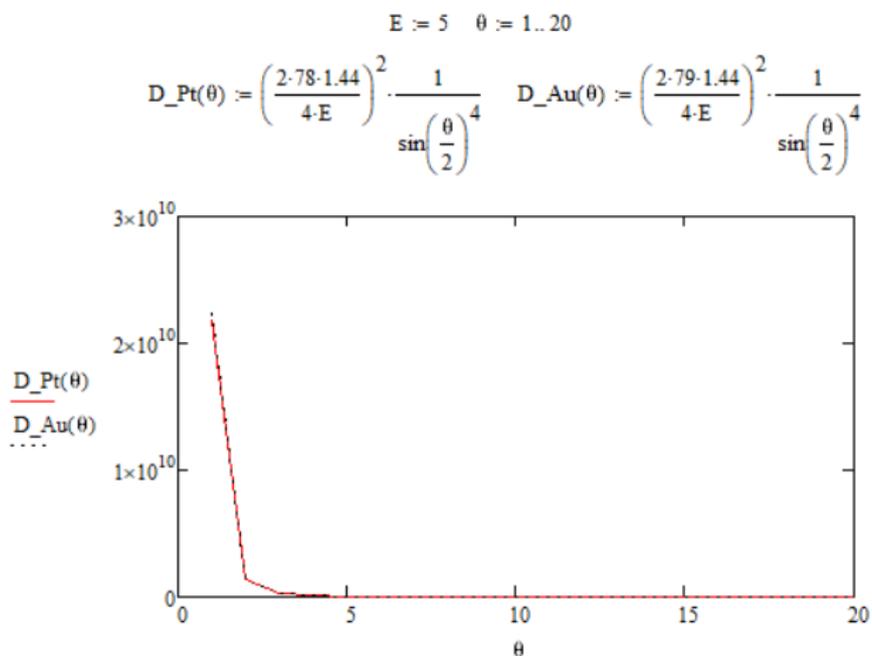


Рисунок 1 – График зависимости  $D(\theta)\Phi\text{м}^2$  для платины и золота при  $E = 5$  МэВ

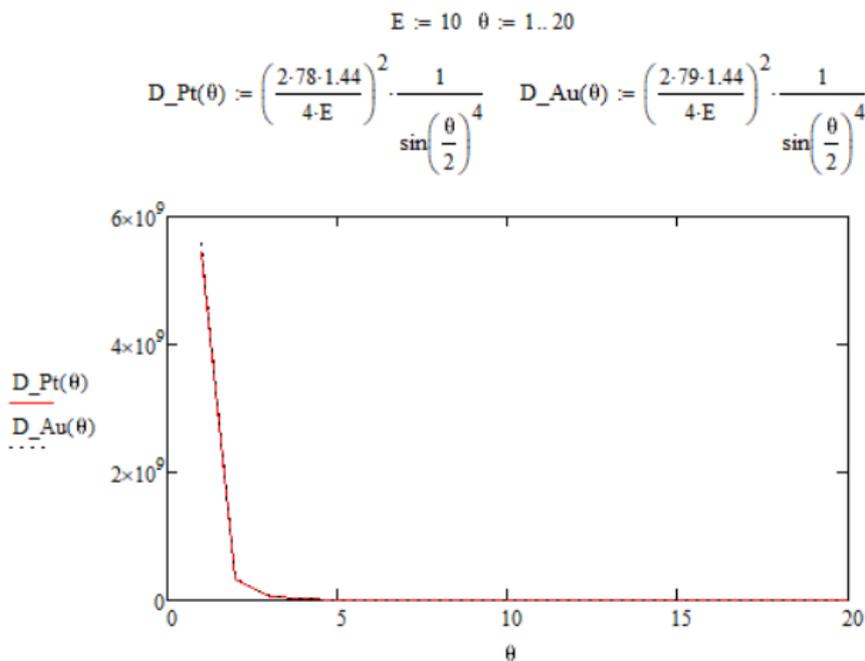


Рисунок 2 – График зависимости  $D(\theta)\Phi\text{м}^2$  для платины и золота при  $E = 10$  МэВ

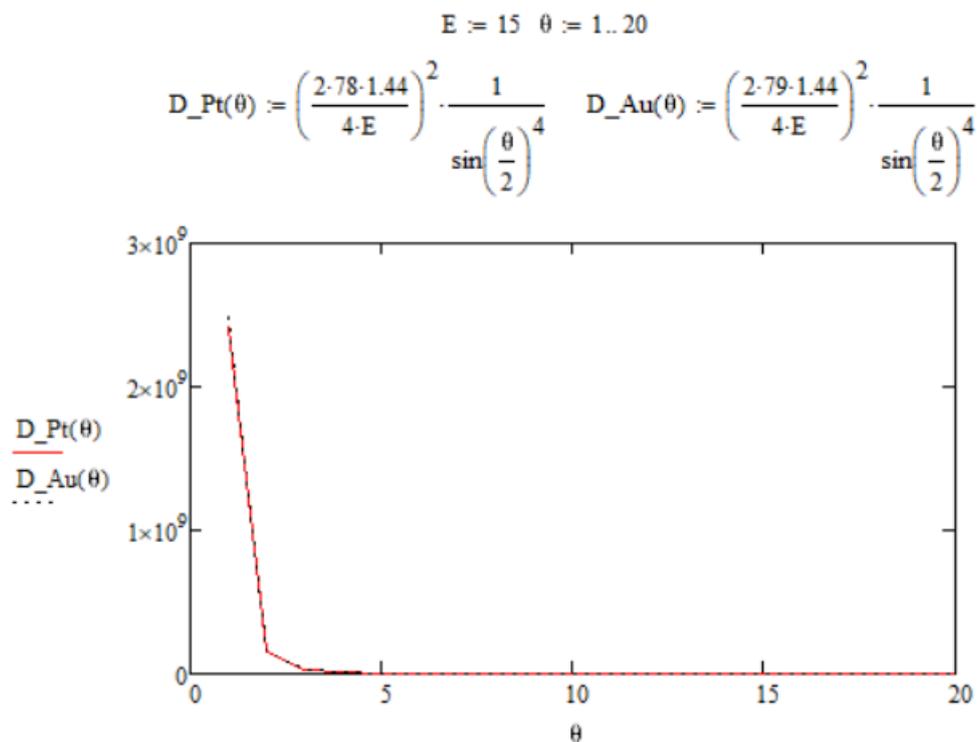


Рисунок 3 – График зависимости  $D(\theta)\Phi_m^2$  для платины и золота при  $E = 15$  МэВ

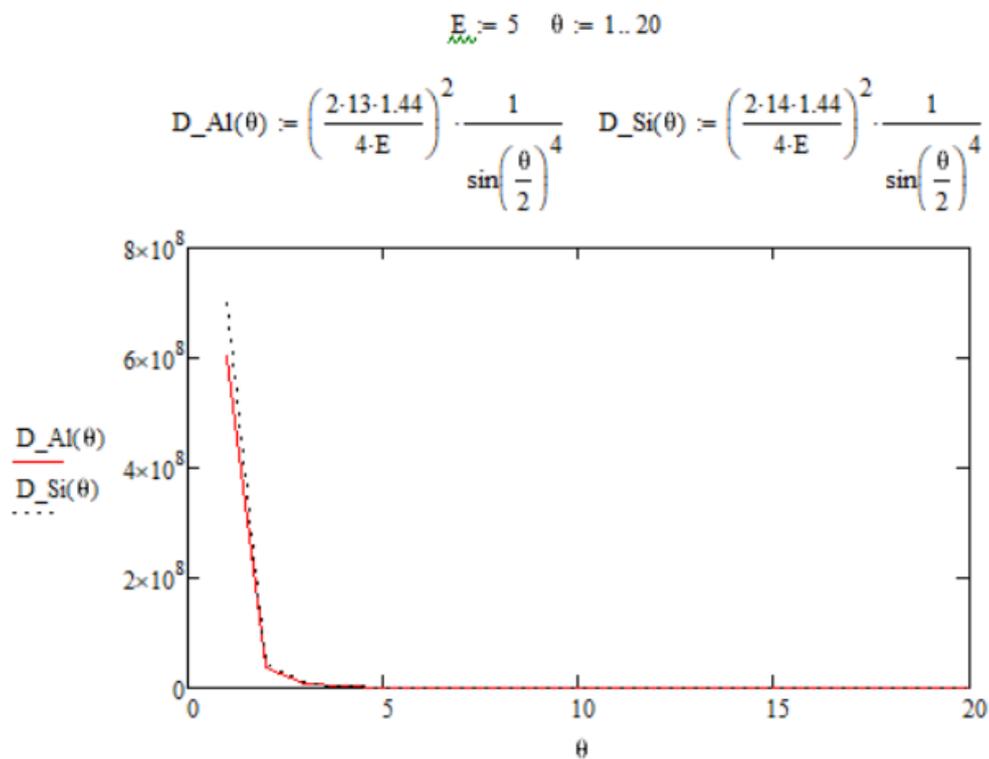


Рисунок 4 – График зависимости  $D(\theta)\Phi_m^2$  для алюминия и кремния при  $E = 5$  МэВ

$$E := 10 \quad \theta := 1..20$$

$$D\_Al(\theta) := \left( \frac{2 \cdot 13 \cdot 1.44}{4 \cdot E} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)^4} \quad D\_Si(\theta) := \left( \frac{2 \cdot 14 \cdot 1.44}{4 \cdot E} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)^4}$$

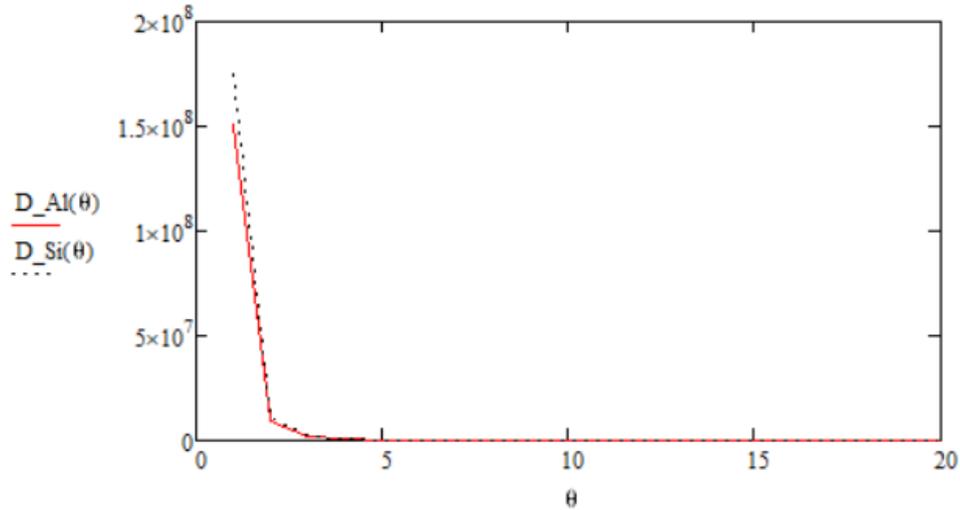


Рисунок 5 – График зависимости  $D(\theta)\text{Фм}^2$  для алюминия и кремния при  $E = 10$  МэВ

$$E := 15 \quad \theta := 1..20$$

$$D\_Al(\theta) := \left( \frac{2 \cdot 13 \cdot 1.44}{4 \cdot E} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)^4} \quad D\_Si(\theta) := \left( \frac{2 \cdot 14 \cdot 1.44}{4 \cdot E} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)^4}$$

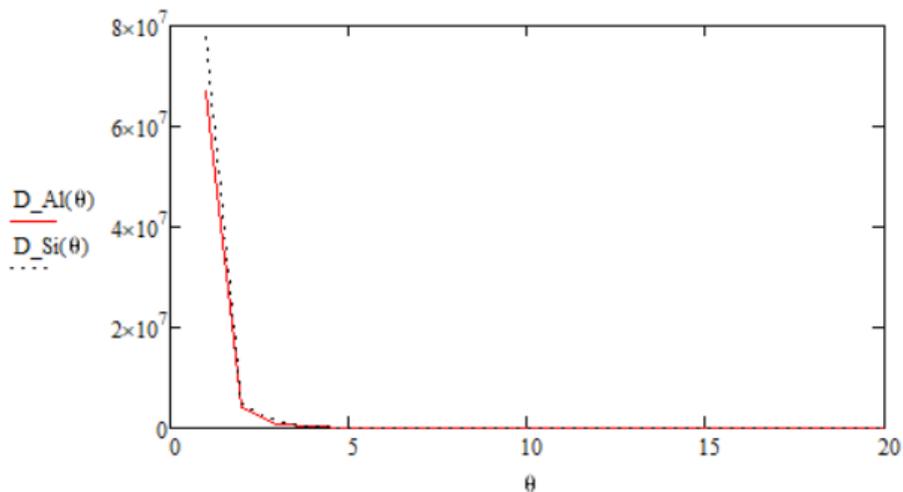


Рисунок 6 – График зависимости  $D(\theta)\text{Фм}^2$  для алюминия и кремния при  $E = 15$  МэВ

Анализ графиков позволяет сделать вывод, что альфа-частица испытывает многократные столкновения, в результате которых наблюдается разброс в среднем в  $2^\circ$ – $3^\circ$ , о чем свидетельствуют большие численные значения  $D(\theta) = \frac{d\sigma}{d\Omega}$  (рисунки 1–6). В области малых углов рассеяние происходит в соответствии с законом нормального распределения случайных величин, а несогласно теории Резерфорда. Однако, начиная с углов рассеяния в  $4^\circ$ – $5^\circ$  Резерфордовское рассеяние становится преобладающим. Из-за малого размера ядра-мишени, с ростом  $\theta$ , альфа-частицы двигаются практически прямолинейно, лишь изредка сталкиваясь с ядрами, что соответствует малым численным значениям  $D(\theta) = \frac{d\sigma}{d\Omega} \approx 0$  (рисунки 1–6). Во всех случаях рассеяния и на тяжелых, и на легких ядрах в области  $\theta < 10^\circ$  наблюдается хорошее согласие экспериментальных результатов с теоретическими данными.

### Литература

1. Савельев, И. В. Курс общей физики : учебное пособие / И. В. Савельев. – М. : Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 50 с.

**М. В. Ритарева**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. В. Андреев**, д-р физ.-мат. наук, профессор

### ОПТИМИЗАЦИЯ ВАРИАЦИОННОГО ПАРАМЕТРА КВАНТОВОЙ СИСТЕМЫ С ПОТЕНЦИАЛОМ ЮКАВЫ

Одно из преимуществ изучения гамильтониана бесспинового Солпитера [1]

$$H = T(k) + V(r, \eta). \quad (1)$$

состоит в том, что он позволяет описать некоторые аспекты релятивистской описания двухчастичных связанных квантовых систем.

В уравнении (1):  $V(r, \eta)$  – статический потенциал взаимодействия частиц, зависящий от координаты  $r$  и некоторого набора параметров  $\eta = \{\alpha, \sigma, \dots\}$ , которые характеризуют интенсивность взаимодействия

частиц с другом; часто потенциал считается центральным, т.е. зависит только от радиальной координаты  $r = |r|$ .

Целью данной работы найти метод расчета энергетического спектра для системы с потенциалом Юкавы с высокой точностью. При этом используются вариационный базис Кулона-Штурма (CS-базис) [2]

Наличие центральной симметрии позволяет искать решение (1) в виде

$$\Psi_{n,\ell m}(r) = (R_{n\ell}(r)/r)Y_{\ell m}(\Omega_r), \tilde{\Psi}_{n,\ell m}(k) = (\tilde{R}_{n\ell}(k)/k)Y_{\ell m}(\Omega_k), \quad (2)$$

где функция  $\tilde{\Psi}$  является фурье-образом функции  $\Psi$ , а  $Y_{\ell m}(\Omega_r)$  сферические гармоники. Для определения волной функции  $\Psi$  необходимо найти только радиальную функцию  $R_{n\ell}(r)$ , которая нормирована условием

$$\int_0^{\infty} R_{n\ell}^*(r)R_{n'\ell}(r)dr = \delta_{n,n'}. \quad (3)$$

В этом подходе осуществляется разложение волновой функции (ВФ)  $R$  с использованием «пробных» ВФ  $\varphi_k(r, \beta)$

$$|R = \sum_{k=0}^{\infty} a_k |\varphi_k(\beta)\rangle, \quad (4)$$

где  $\beta$  – вариационный параметр (или набор параметров).

Пробные ВФ общем случае удовлетворяют условия нормировки и полноты

$$\int g(x, \beta) \varphi_n^*(x, \beta) \varphi_{n'}(x, \beta) dx = \delta_{n,n'}, \quad (5)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} g(x, \beta) \varphi_n^*(x, \beta) \varphi_n(x, \beta) dx = I, \quad (6)$$

где  $g(x, \beta)$  играет роль «весовой» функции. В случае, если  $g(x, \beta) = 1$  функции  $\varphi_k(\beta)$  образуют ортонормированный базис.

Для расчетов удобно ввести биортонормированный партнер к функции  $\varphi_k(\beta)$  соотношением:

$$\bar{\varphi}_k(x, \beta) = g(x, \beta) \varphi_k(x, \beta). \quad (7)$$

Использование (4),(5) и (6) приводит к задаче на обобщенные собственные значения

$$H(\beta).a = E_{nl} W(\beta).a \quad (8)$$

с бесконечномерными матрицами

$$H_{ij}(\beta) = \langle \varphi_i(\beta) | H | \varphi_j(\beta) \rangle, \quad W_{ij}(\beta) = \langle \varphi_i(\beta) | \varphi_j(\beta) \rangle. \quad (9)$$

Для приближенного решения уравнения бесконечномерные матрицы (9) заменяют на конечномерные вида  $N \times N$ . При этом, согласно вариационной технике Рэлея-Ритца для спектра с  $E_0 \leq E_1 \leq \dots$ , выполняется условие  $E_k \leq \tilde{E}_k(\beta), k = 0, \dots, N-1$ , где  $\tilde{E}_k(\beta)$  собственные значения уравнения (8) с конечномерными матрицами.

В данном подходе для поиска спектра  $\tilde{E}_k(\beta)$  максимально приближенным к истинному  $E_k$  проводят процедуру вычисления вариационного параметра  $\beta$  при котором значения  $\tilde{E}_k(\beta)$  минимальны.

Базисные функции Кулона-Штурма (CS) в координатном пространстве определяются соотношением [2]

$$\Phi_{nl}^{\text{CS}}(r, \xi) = N_{nl} (2\xi r)^{\ell+1} e^{-\xi r} L_n^{2\ell+1}(2\xi r), \quad (10)$$

где

$$N_{nl} = \sqrt{\frac{n!}{(2\ell + n + 1)!}}. \quad (11)$$

Для решения используем обобщенную задачу на собственные значения вида (8). В данном случае необходимо вычислить следующие матричные элементы

$$W_{m', \ell}(\xi) = \varphi_n(\xi) | \varphi_{n'}(\xi) = \int_0^{\infty} \Phi_{nl}^{*\text{CS}}(r, \xi) \Phi_{n'\ell}^{\text{CS}}(r, \xi) dr, \quad (12)$$

$$V_{m',\ell}(\xi) = \varphi_n(\xi) | \varphi_{n'}(\xi) = \int_0^\infty \Phi_{n\ell}^{*CS}(r, \xi) \left( \frac{1}{r} \right) \Phi_{n'\ell}^{CS}(r, \xi) dr, \quad (13)$$

$$T_{m',\ell}(\xi) = \int_0^\infty \tilde{\Phi}_{n\ell}^{CS}(k, \xi) (k) \tilde{\Phi}_{n'\ell}^{CS}(k, \xi) dk. \quad (14)$$

Использование свойств полиномов Лагерра, входящих в функции Кулона-Штурма позволяет найти, что (12) определяется соотношением

$$W_{m',\ell} = \frac{1}{\xi} \tilde{W}_{n'n,\ell}(\xi) = \frac{1}{\xi} \left( (\ell + n + 1) \delta_{n,n'} - \sqrt{\frac{1}{4} n' (2\ell + n' + 1)} \delta_{n,n'-1} - \sqrt{\frac{1}{4} n (2\ell + n + 1)} \delta_{n,n'+1} \right). \quad (15)$$

Интеграл (14) после замены переменных трансформируется к виду

$$T_{m,\ell}(\xi) = \frac{\beta^2}{2\mu} \left( \frac{1}{2} (\sqrt{m} \sqrt{2L + m + 1}) \delta_{n,m-1} + (L + n + 1) \delta_{n,m} + \frac{1}{2} (\sqrt{n} \sqrt{2L + n + 1}) \delta_{n,m+1} \right) \quad (16)$$

Нами предложена интерполяционная формула для оптимизации вариационного параметра  $\beta_n(E_n)$  на основе аналитических выражений для энергетических спектров с потенциалом Юкавы при  $n = 1, 2, 3, 4$ .

$$\beta_n(E_1) = \frac{1}{2} n (\beta_3(E_1) - \beta_1(E_1)) + \beta_1(E_1)$$

Аналогичные формулы можно получить для  $\beta(E_2)$ ,  $\beta(E_3)$ .

Численные расчеты показали совпадения энергетических уровней для  $n = 1, 2, 3, 4$  с точностью до  $10^{-12} - 10^{-30}$  с работой [3]. Это подтверждает эффективность оптимизации вариационного параметра с помощью оригинальной методики.

## Литература

1. Salpeter, E. E. Mass-corrections to the fine structure of Hydrogen-like atoms / E. E. Salpeter // Phys. Rev. – 1952. – Vol. 87, №2. – P. 328–343.
2. Rotenberg, M. Theory and application of Sturmian functions / M. Rotenberg // Advances in Atomic and Molecular Physics. ed. by D. Bates, I. Esterman. – Academic Press, 1970. – Vol.6. – P. 233–268.
3. Stubbins, C. Bound states of the Hulthen and Yukawa potentials / C. Stubbins // Phys. Rev. A. – 1993. – Vol. 48. – P. 220–227.

**Д. А. Сагайдак**  
(ОмГТУ, Омск)

Науч. рук. **В. Н. Задорожный**, д-р техн. наук, доцент

### **ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ С ДЕМУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕМ ПО ДВУМ КАНАЛАМ СВЯЗИ С РАЗЛИЧНЫМИ ПРОПУСКНЫМИ СПОСОБНОСТЯМИ**

Пусть отправителю требуется передать информацию – поток видеоданных, представляющий из себя последовательность изображений. У отправителя для этой цели имеется два канала связи и, используя схемы разделения секрета (далее – СРС) на две неравные доли, описанные в [1, 2], он осуществляет демультиплексирование передаваемых данных, как это описано, например, в [3, 4]. Но, отправитель не желает переплачивать за избыточность пропускных способностей каналов связи, и поэтому требуется выбрать такие оптимальные пропускные способности каналов связи, которые были бы достаточны для передачи отправляемых им данных. Предполагается, что СРС на две неравные доли могут использоваться не только для передачи видеоданных, но и для любых данных, где вместо битовых значений пикселей изображений, как это описано в [1, 2], берется битовое представление самих сообщений. В результате разделения сообщений меньшая доля отправляется по каналу с меньшей пропускной способностью, а большая – по каналу с большей пропускной способностью.

В качестве математической модели для оптимизации передачи сообщений с демультиплексированием по двум каналам связи предлагается сеть с расщеплением заявок по двум одноканальным системам

массового обслуживания (СМО) (рисунок 1). В терминах теории массового обслуживания полагается: сообщения – заявки, демультиплексирование сообщений – расщепление заявок, мультиплексирование сообщений – ассемблирование заявок, две заявки, соответствующие двум долям разделенного сообщения – сопряженные заявки, дисциплина обслуживания очередей перед каналами – дисциплина FIFO.

Заявки передаются через два канала с разными пропускными способностями  $C_1$  и  $C_2$ , измеряемыми, например, в Кбит/с. В отличие от традиционных сетей СМО в точке S заявка не переходит в одну из ветвей, а расщепляется на две заявки, одна из которых поступает в СМО-1, а другая – в СМО-2. Перед точкой A формируются очереди синхронизации, в самой точке A две сопряженные заявки ассемблируются в одну заявку.

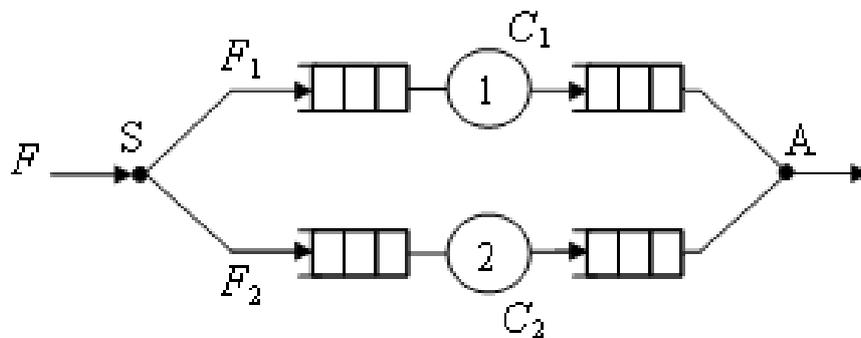


Рисунок 1 – Сеть с расщеплением заявок  
S – точка расщепления (split), A – точка сборки (assemble)

Входящий в сеть трафик  $F$  (Кбит/с) делится на две части  $F_1$  и  $F_2$ , где  $F_1 + F_2 = F$ . Момент входа заявки в сеть является одновременно моментом ее расщепления и моментом входа получаемых сопряженных частей в каждую из двух СМО. Тогда интенсивности  $\lambda$ ,  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  потоков заявок, поступающих в сеть, в СМО-1 и в СМО-2 соответственно, одинаковы, и все три потока заявок описываются одним и тем же вероятностным законом.

Время  $u$  передачи заявки определяется формулой

$$u = \max(u_1, u_2), \quad (1)$$

где  $u_1$  – время пребывания заявки в СМО-1:

$$u_1 = w_1 + x_1, \quad (2)$$

$u_2$  – время пребывания сопряженной с нею заявки в СМО-2:

$$u_2 = w_2 + x_2, \quad (3)$$

$w_1$  – время ожидания заявки в очереди 1,  $x_1$  – время обслуживания заявки в канале 1,  $w_2$  – время ожидания сопряженной заявки в очереди 2,  $x_2$  – время обслуживания сопряженной заявки в канале 2.

Среднее время  $U$  пребывания в S-сети, согласно (1), выражается формулой

$$U = M[\max(u_1, u_2)] = M[\max(w_1 + x_1, w_2 + x_2)]. \quad (4)$$

Время  $U$  зависит от пропускных способностей  $C_1, C_2$ :

$$U = U(C_1, C_2).$$

Пусть цена пропускной способности любого канала в расчете на время эксплуатации сети составляет  $m$  у.е./кбит/с). Тогда задача оптимизации пропускных способностей  $C_1, C_2$  каналов может быть сформулирована так:

$$f = lU(C_1, C_2) + mC_1 + mC_2 \rightarrow \min_{C_1, C_2}, \quad (5)$$

$$\begin{cases} C_1 \geq F_1 \\ C_2 \geq F_2, \end{cases} \quad (6)$$

где  $U(C_1, C_2) = M[\max(u_1, u_2)]$ ,  $l$  (у.е./с) – цена средней задержки заявки в сети на одну секунду. Стоимостный коэффициент  $l$  равен потерям (происходящим из-за ожидания заявок), рассчитанным на период эксплуатации сети.

Таким образом, задача (5), (6) ставится как задача минимизации средних издержек, приходящихся на период эксплуатации сети. Ис-

следование задачи показывает, что при различных предположениях о вероятностных законах, описывающих входной поток заявок и время обслуживания заявок каналами, и при различных способах расщепления заявок эта задача эффективно решается аналитическими методами либо ускоренными методами имитационного моделирования.

### Литература

1. Sagaydak, D. A. Model secret sharing schemes in systems transmit video / D. A. Sagaydak, R. T. Faizullin // Computer Optics. – 2013. – Vol. 37, № 1. – P. 105–112.
2. Файзуллин, Р. Т. Приложение алгоритма префиксного кодирования массива данных в схеме разделения секрета потока видеоданных / Р. Т. Файзуллин, Д. А. Сагайдак // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2012. – № 1-2(25). – С. 136–140.
3. Ефимов, В. И. Система мультиплексирования разнесенного TCP/IP трафика / В. И. Ефимов, Р. Т. Файзуллин // Математические структуры и моделирование. – 2002. – № 10. – С. 170–171.
4. Лавров, Д. Н. Схема разделения секрета для потоков данных маршрутизируемой сети / Д. Н. Лавров // Математические структуры и моделирование. – 2002. – № 10. – С. 192–197.

**А. А. Садовский**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **О. В. Дегтярева**, ст. преподаватель;

**А. А. Панков**, д-р физ.-мат. наук, профессор;

**А. А. Бабич**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### **ПРЕЦИЗИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЛАБОГО УГЛА СМЕШИВАНИЯ ВАЙНБЕРГА В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫХ КОЛЛАЙДЕРАХ СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ**

Проверка Стандартной модели электрослабых и сильных взаимодействий элементарных частиц (СМ) осуществлялась на протяжении ряда лет в ускорительных экспериментах на высокоэнергетических коллайдерах, таких как LEP (опции LEP1 и LEP2), SLC, Tevatron, HERA и др., а также интенсивно ведется в настоящее время на Боль-

шом адронном коллайдере LHC. При этом результаты экспериментов, как правило, согласуются с предсказаниями СМ. Последний громкий успех СМ связан с открытием хиггсовского бозона в экспериментах CMS и ATLAS на LHC.

В представленном работе излагаются результаты исследований, посвященные разработке методов прецизионной проверки СМ на высокоэнергетических электрон-позитронных коллайдерах следующего поколения, таких как FCC-ee (Future Circular Collider), ILC (International Linear Collider), CLIC (Compact Linear Collider). В частности, определена светимость коллайдера FCC-ee, при которой точность измерения квадрата синуса угла Вайнберга (угла смешивания)  $\pm \delta (\sin^2 \theta_W)$  в окрестности резонансного пика стандартного Z-бозона превысит современные предельные значения, полученные из глобального анализа электрослабых данных.

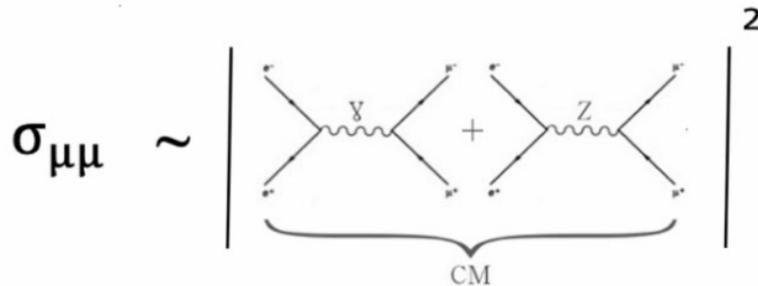


Рисунок 1 – Наборы фейнмановских диаграмм для амплитуды электрон-позитронной аннигиляции в пару мюонов в СМ

Полное сечение рассеяния  $\sigma_{\mu\mu}$  и относительное сечение  $R^\mu$ , определяются [1, 2]:

$$\sigma_{\mu\mu} = \int_{-1}^1 \frac{d\sigma_{\mu\mu}}{d \cos \theta} d \cos \theta = \sigma_{pt} F_1,$$

где  $\sigma_{pt} \equiv \sigma(e^+ e^- \rightarrow \gamma^* \rightarrow \mu^+ \mu^-) = (4\pi\alpha_{e.m.}^2)/(3s)$ ,

$\alpha = \frac{e^2}{4\pi}$  – постоянная тонкой структуры,

$$R^\mu = \frac{\sigma_{\mu\mu}}{\sigma_{e.m.}} = 1 + 2v^2 \operatorname{Re}(\chi) + (v^2 + a^2)^2 |\chi|^2.$$

Здесь  $\chi$  – пропагатор Z-бозона (с учетом ширины распада Z-бозона). В СМ лептонные константы связи Z-бозона имеют вид:

$v = -1 + 4\sin^2\theta_w$  ( $a = -1$ ) векторная (аксиально-векторная) константа связи.

Определим функцию  $\chi^2$  как:  $\chi^2 = \left(\frac{\Delta\sigma_{\mu\mu}}{\delta\sigma_{\mu\mu}}\right)^2$ , где отклонение сечения  $\Delta\sigma_{\mu\mu}$  вызвано возможным изменением параметра  $x_w = \sin^2\theta_w$ :  $\Delta\sigma_{\mu\mu} = \sigma_{\mu\mu}(x_w \pm \delta x_w) - \sigma_{\mu\mu}(x_w)$ , здесь  $\delta\sigma_{\mu\mu} = \sqrt{\frac{\sigma_{\mu\mu}}{L}}$  – статическая погрешность эксперимента.

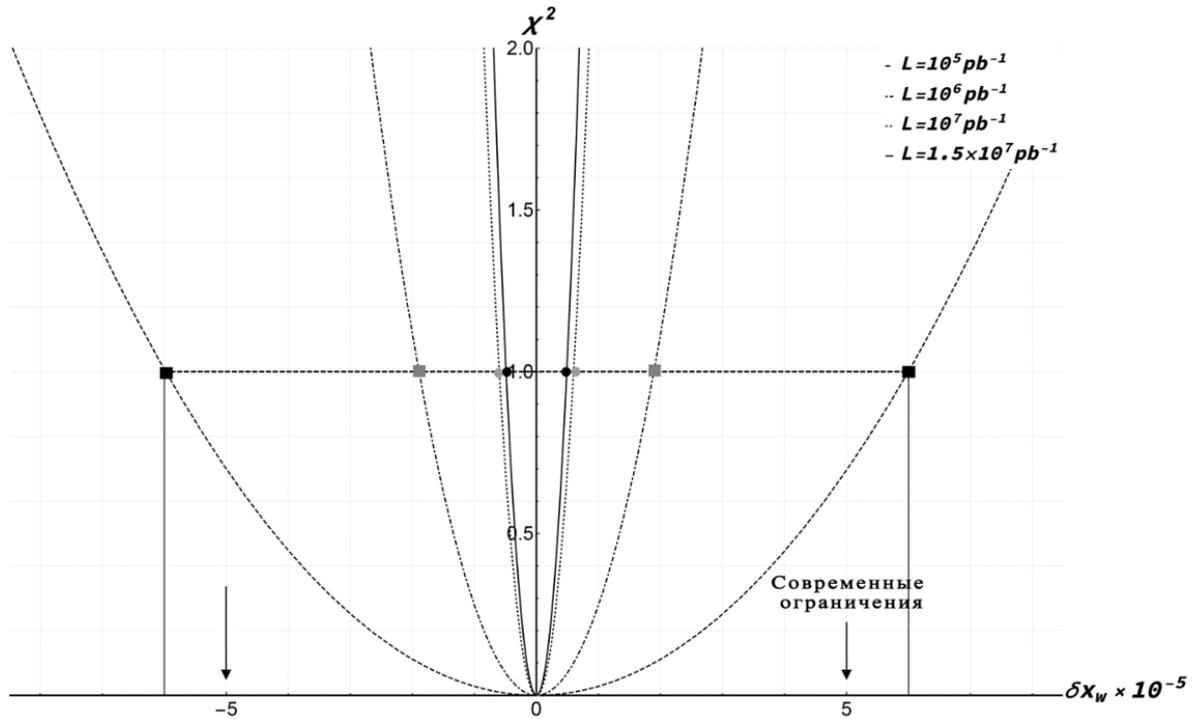


Рисунок 2 – Функция  $\chi^2$  в зависимости от  $\delta x_w$  в окрестности резонансного пика стандартного Z-бозона при различных значениях интегральной светимости. Показано, что при планируемой максимальной светимости коллайдера FCC-ee удастся более чем на порядок увеличить современную точность измерения квадрата синуса угла Вайнберга

### Выводы:

1) Определена светимость коллайдера FCC-ee, при которой точность измерения квадрата синуса угла Вайнберга (угла смешивания)  $\pm\delta(\sin^2\theta_w)$  в окрестности резонансного пика стандартного Z-бозона превысит современные предельные значения, полученные из глобального анализа электрослабых данных.

2) Показано, что при планируемой максимальной светимости коллайдера FCC-ee удастся более чем на порядок увеличить современ-

ную точность измерения ключевого параметра  $SM$  квадрата синуса угла Вайнберга.

## Литература

1. Babich, A. A. New physics signatures at a linear collider: Model independent analysis from conventional polarized observables/ A. A. Babich, P. Osland, A. A. Pankov, N. Paver // Phys. Lett. B. – 2001. – 518. – PP.128–136.

2. Pankov, A. A. High-precision limits on  $W$ – $W'$  and  $Z$ – $Z'$  mixing from diboson production using the full LHC Run 2 ATLAS data set / A. A. Pankov, P. Osland, I. A. Serenkova, V. A. Bednyakov // Eur. Phys. J. C. – 2020. – 80, no.6, – PP. 503–525.

**Н. А. Селиверстов**

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **Д. Г. Кроль**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## СТРУКТУРА ИЗОЛИНИЙ ПАРАМЕТРОВ НАЧАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ НОСИКА ДЕНДРИТА В ПЕРЕОХЛАЖДЕННОМ РАСПЛАВЕ

Важное место в изучении роста кристалла из переохлажденного расплава чистого вещества занимает изучение морфологических свойств фронта кристаллизации и возникновение боковых ветвей дендрита. Современное состояние теоретических и экспериментальных исследований этой проблемы представлено в работах [1, 2]. В данной работе рассматривается класс поверхностей роста, скорость перемещения которых зависит только от локальной формы этой поверхности. Предвестниками неустойчивости макроскопических форм поверхности роста служат изломы, изгибы, складки, генерирующие возмущение кривизны исходной поверхности. Цель работы: проанализировать устойчивость / неустойчивость начального состояния дендрита.

Рассмотрим двухмерный плоский случай. Фазовую границу кристаллизации (ФГК) моделируем плоской линией сильного разрыва  $x - F(y, t) = 0$ . Средняя кривизна этой границы равна  $K = (\partial^2 F / \partial y^2) / G^3$ ,  $G = (1 + (\partial F / \partial y)^2)^{1/2}$ . Направление оси  $x$  совпа-

дает с осью симметрии и направлена в сторону твердой фазы;  $y$  – поперечная декартова ось. Важную роль имеет угол  $\theta$ , образованный нормалью  $\mathbf{n}$  границы с осью  $X$ :  $\cos\theta = 1/G$ . На вершине ФГК  $\partial F/\partial y = 0$ ,  $\cos\theta = 1$ . По мере удаления от вершины  $\cos\theta$  монотонно убывает:  $\cos\theta \rightarrow 0$ ,  $\theta \rightarrow \pi/2$ . На фазовой границе кристаллизации имеем следующие три условия: баланс энергии, являющийся следствием интегрального закона сохранения энергии; кинетическая связь  $|N| = \mu(T_e - T_j)$ ,  $T_e = T_c[1 - (UK/L)]$ , определяющая нормальный механизм роста из расплава. Здесь  $T_e$  – температура равновесия между твердой и жидкой фазами. Связь между равновесным значением температуры  $T_c$  и отклонением температуры кристалла  $T_j$  запишем в следующей форме:  $(T_c - T_j) = (\cos\theta)^\delta B$ ,  $\delta > 0$ , где  $B \equiv \text{const}$  либо  $B = B(t)$ ,  $t \geq 0$ . Параметр  $\delta$  характеризует неоднородность переохлаждения на ФГК. Далее берем  $\delta = 3$ . Уравнение роста  $N \equiv (\partial F/\partial t)/G = -\mu(T_e - T_j)$  с учетом записанных выше соотношений принимает вид:

$$\partial^2 F/\partial y^2 = \alpha B + \varphi(\partial F/\partial t)[1 + (\partial F/\partial y)^2], \quad \alpha = L/(UT_c), \quad \varphi = \alpha/\mu. \quad (1)$$

Для уравнения (1) в работе [3] построен плоский стационарный контур, скорость перемещения которого не зависит от времени:

$$F(y,t) = A_1 t + A_2(y), \quad A_1 \equiv \text{const} < 0, \quad (2)$$

Линеаризация на этом решении  $F(y,t) = A_1 t + A_2(y) + f(y,t)$  дает уравнение для малого возмущения стационарного контура. Его решение строим в виде

$$f(y,t) = [B_2(y)\sin kt + D_2(y)\cos kt]\exp(rt), \quad t \geq 0; \quad r < 0, \quad k \geq 0, \quad y \geq 0, \quad (3)$$

$$B_2(y) = (C_1 \cos Z_2 y + C_3 \sin Z_2 y)\exp(yn_1) + (C_2 \cos Z_2 y + C_4 \sin Z_2 y)\exp(-yn_1);$$

Подробные формулы расчета здесь не приводятся. Были изучены следующие параметры начального состояния возмущенного носика дендрита: возмущение угла заострения  $\delta\theta_1 = D_2^1$ ; этот термин мы применяем для краткости: строго говоря, здесь вычисляется возмуще-

ние  $\text{ctg}\theta_1$ ; возмущение кривизны  $\delta K = \varphi(kB_2^0 + rD_2^0)$ ; возмущение угловой скорости касательной к линии роста  $\delta\omega = kB_2^1 + rD_2^1$ ; возмущение углового ускорения касательной к линии роста  $\delta\varepsilon = 2krB_2^1 + (r^2 - k^2)D_2^1$ .

Расчеты выполняли для трех значений переохлаждения расплава  $\Delta T$  при различающихся друг от друга начальных состояниях носика (параметр  $D_2^0$ ). На рисунках 1, 2 для никеля на плоскости  $(r, k)$  построены типичные изолинии перечисленных четырех возмущений.

Получены соотношения устойчивости начального состояния вершины дендрита, характеризующие взаимосвязь между режимом эволюции во времени линии роста и морфологическими свойствами возмущенной вершины. Представлена структура изолиний параметров начального состояния носика дендрита.

Данная работа выполнена в рамках НИР «Кинетика неравновесных фазовых границ и неклассические тепловые структуры при высокоскоростной кристаллизации чистых веществ» ГПНИ «Энергетические и ядерные процессы и технологии». Научный руководитель проекта профессор О. Н. Шабловский.

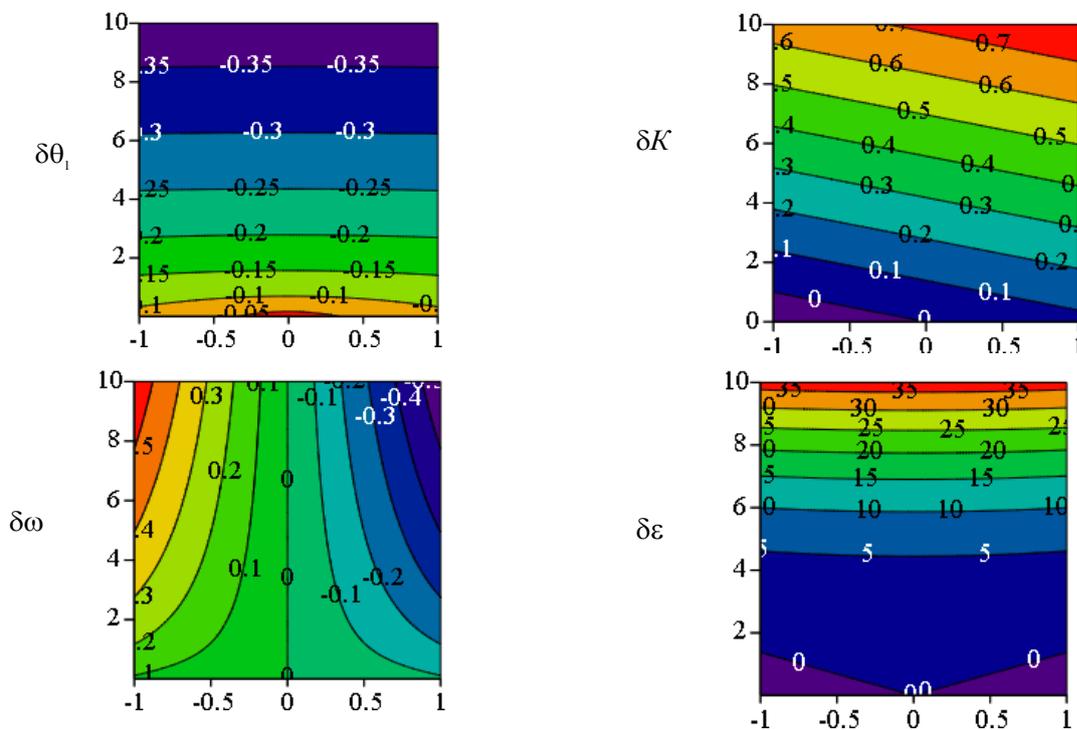


Рисунок 1 – Никель. Изолинии – на плоскости  $(r, k)$  – параметров начального состояния носика дендрита. Входные параметры:  $\mu = 9,53 \text{ м/(К} \cdot \text{с)}$ ,  $N = 5,3 \text{ м/с}$ ,  $\alpha = 6,842 \cdot 10^5 \text{ (К} \cdot \text{м)}^{-1}$ ,  $\varphi = 7,18 \cdot 10^4 \text{ с/(м}^2\text{)}$ ,  $\Delta T = 166 \text{ К}$ ,  $D_2^0 = 0,1$ ,  $B_2^0 = 0,1$

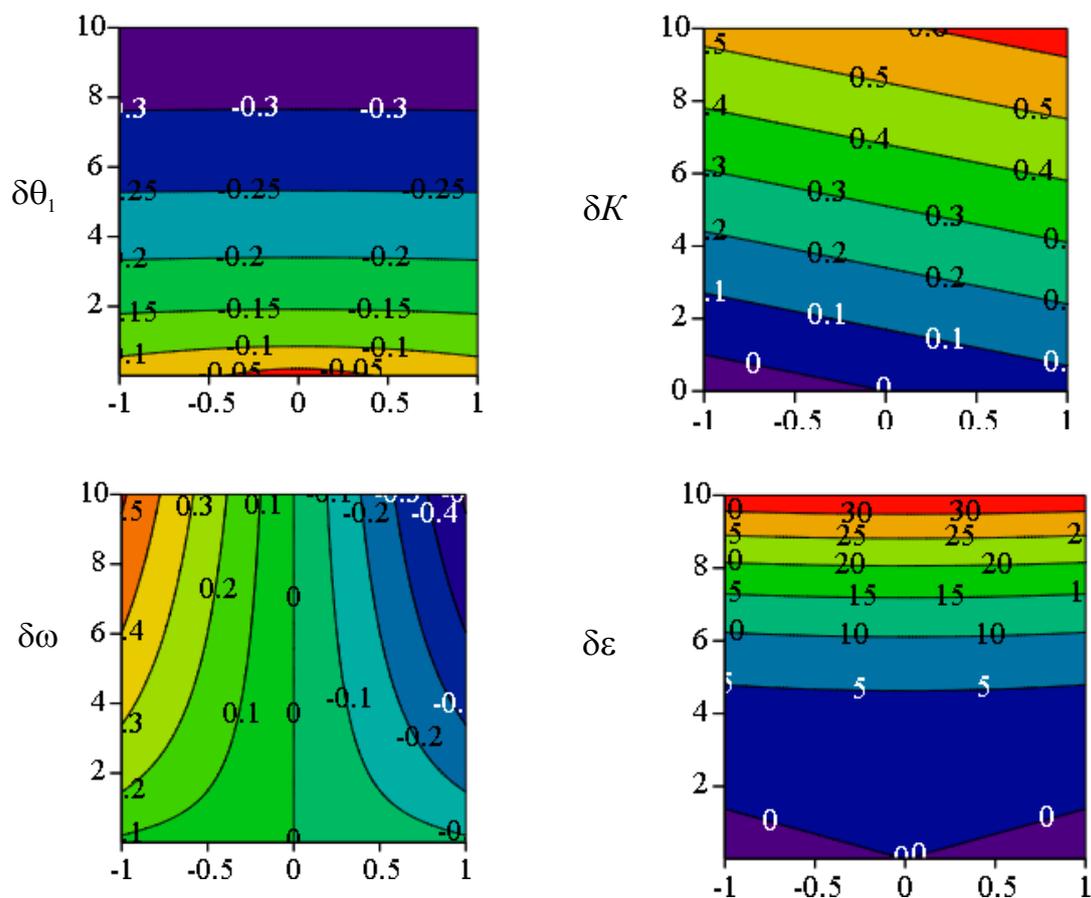


Рисунок 2 – Никель. Изолинии – на плоскости  $(r, k)$  – параметров начального состояния носика дендрита. Входные параметры:  $\Delta T = 198,2 \text{ К}$ ,  $\mu = 11,638 \text{ м/(К} \cdot \text{с)}$ ,  $N = 6,0 \text{ м/с}$ ,  $\alpha = 6,842 \cdot 10^5 \text{ (К} \cdot \text{м)}^{-1}$ ,  $\varphi = 5,88 \cdot 10^4 \text{ с/(м}^2\text{)}$ ,  $D_2^0 = 0,1$ ,  $B_2^0 = 0,1$

## Литература

1. Strickland, J. On Directional Dendritic Growth and Primary Spacing – A Review / J. Strickland, B. Nenechev // Crystals. – 2020. – 10(7). – P. 627.
2. Шабловский, О. Н. Форма поверхности роста и предвестники ветвления дендрита в переохлажденном расплаве / О. Н. Шабловский, Д. Г. Кроль // Успехи прикладной физики. – 2018. – №4. – С. 316–324.
3. Шабловский, О. Н. Морфологические свойства линии роста двумерного дендрита в переохлажденном расплаве / О. Н. Шабловский // Прикладная физика. – 2012. – №4. – С. 40–46.

**Е. А. Сундуков**  
(БарГУ, Барановичи)  
Науч. рук. **А. И. Калько**, ст. преподаватель

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗА ВЫБРОСАМИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ**

В настоящее время большую популярность набирает борьба за экологию планеты. Проблемы экологии сегодня становятся не просто главными в осуществлении устойчивого развития общества, но и весьма острыми для самого выживания человека. Поэтому сейчас ведётся активный мониторинг выбросов в атмосферный воздух.

Объектом исследования является система контроля за выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Предметом исследования являются методы проектирования системы контроля за выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух твёрдотопливного котла.

Цель проекта смоделировать автоматизированную систему контроля за выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух твёрдотопливного котла для последующей разработки данной системы.

Для реализации данной цели требуется выполнить следующие задачи:

- изучить рабочее место оператора АСК;
- разработать структуру АСК.

АСК должна состоять из:

- газоаналитического оборудования и аналоговых датчиков;
- программируемого логического контроллера (далее ПЛК);
- программного обеспечения (далее ПО) к ПЛК;
- скады;
- базы данных (далее БД);
- Web-приложения (сайт АСК).

Для выбора среды программирования не обходимо знать на каком ПЛК будет построена АСК, поэтому первоначально нам нужно выбрать контроллер. На данный момент всё газоаналитическое оборудование в промышленной сфере подключается/управляется с помощью дискретных или аналоговых входов/выходов на ПЛК, не редко можно встретить оборудование, которое опрашивается по «RS-485» или «RS-232» используя протокол «Modbus», но в последнее время всё

чаще используется порт «RJ-45» и протоколы «Modbus RTU» и «Modbus TCP» они являются более универсальными и позволяют подключить огромное количество разных устройств с одновременным чтением и записью.

В настоящее время на рынке ПЛК лидирует 3 бренда, именно:

- «SIEMENS»;
- «Schneider Electric»;
- «Mitsubishi».

При выборе ПЛК, выбор пал на «S7-1214 DC DC RLY» бренда «SIEMENS», решение было принято из-за просто работы в среде, также в лицензии WinCC Runtime Professional на 128 тегов идёт встроенная лицензия на MS SQL Server Standart, и возможность работы с VBA-скриптами, в которых можно работать с БД.

Так как был выбран ПЛК «S7-1200» от бренда «SIEMENS» среда разработки будет TIA Portal V16.

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) – интегрированная среда разработки программного обеспечения систем автоматизации технологических процессов от уровня приводов и контроллеров до уровня человеко-машинного интерфейса. Является воплощением концепции комплексной автоматизации (англ. Totally Integrated Automation) и эволюционным развитием семейства систем автоматизации Simatic компании Siemens AG [1].

Автоматизированная система контроля за выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух должна обеспечивать конечному пользователю вывод текущих концентраций и выбросов с отслеживанием превышений и подхода к границе превышения, а также формирования актуальных отчётов по требуемым стандартам для отправки в «Минприроду». При этом предполагается, что АСК поможет уменьшить загрязнение окружающей среды, путём приведения выбросов в норму, что положительно скажется на общей экологической проблеме.

На диаграмме прецедентов, показаны все варианты использования АСК. В ней мы можем просматривать аварии, текущие значения, видеть превышения, генерировать отчёты и выгружать отчёты в Excel. Диаграмма прецедентов для автоматизированного рабочего места показана на рисунке 1.

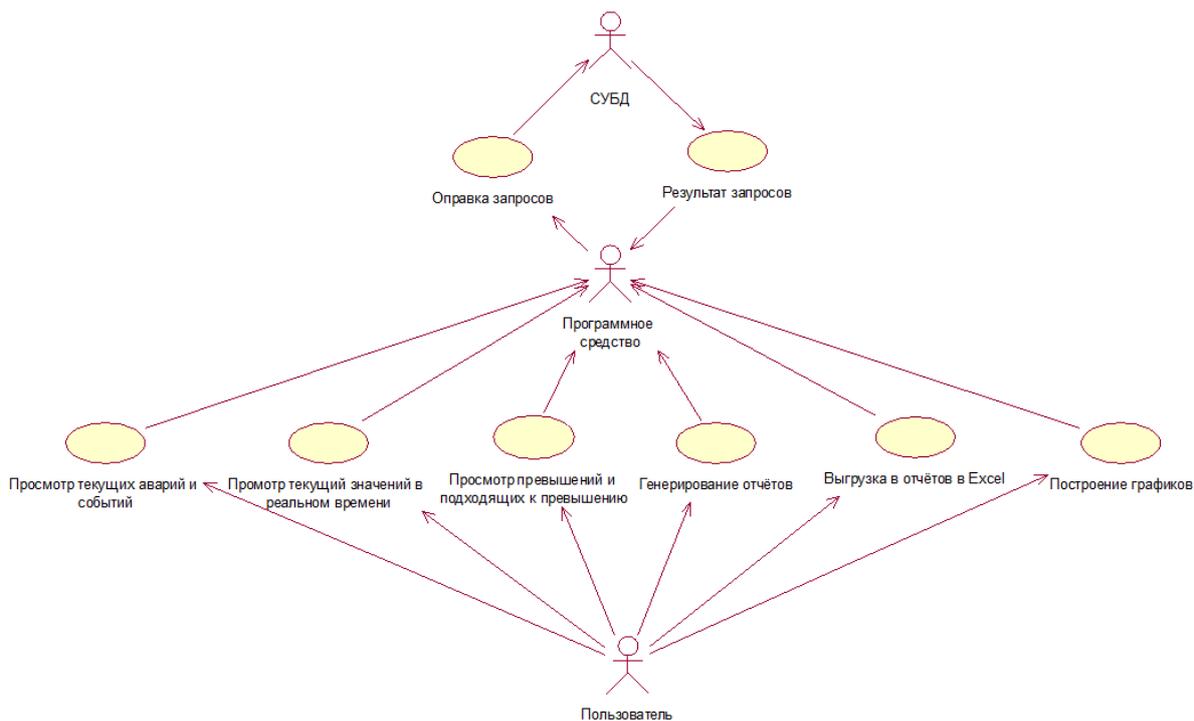


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования

Разрабатываемый программный продукт является неотъемлемой частью сложной системы АСУ ТП предприятия и не может существовать отдельно от других, более низких по уровню компонентов системы [2].

Цель моделирования автоматизированной системы контроля за выбросами достигнута. В дальнейшем исследовании планируется разработка данной системы.

## Литература

1. TIA Portal [Электронный ресурс] // Свободная энциклопедия Wikipedia. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/TIA\\_Portal](https://ru.wikipedia.org/wiki/TIA_Portal). – Дата доступа: 22.02.2022.

2. Калько, А. И. Автоматизированное рабочее место диспетчера котельных с особыми потребностями КУП «Волковысское коммунальное хозяйство» / А. И. Калько, А. А. Бруйло // Непрерывное профессиональное образование лиц с особыми потребностями : сборник статей IV Международной научно-практической конференции, Минск, 9–10 декабря 2021 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол. : А. А. Охрименко [и др.]. – Минск, 2021. – С. 100–103.

**А. М. Телеш**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **И. А. Фаняев**, канд. техн. наук, доцент

## **ПЕРЕДАЮЩАЯ АНТЕННА FM ДИАПАЗОНА**

Современные системы связи и телекоммуникации и в настоящее время осваивают свободные участки дециметрового диапазона и низкочастотную область сантиметрового диапазона. Повышенный интерес к этим диапазонам вполне объясним, так как, с одной стороны, они обладают достаточно большой информационной емкостью, а с другой – ограниченный практически пределами прямой видимости радиус действия этих систем позволяет многократно использовать одни и те же частоты в соседних районах.

Для таких целей вполне подходит логопериодическая вибраторная антенна (ЛПВА), которая предназначена для качественного приема и передачи радиосигналов преимущественно дециметровых и метровых волн при широком перекрытии диапазона частот [1–2]. Логопериодические антенны разнообразны по своей конструкции (вибраторные, печатные). Доработка классической конструкции антенны с улучшенными диапазонными свойствами является актуальной задачей.

В данной работе осуществлен численный расчет параметров антенны и компьютерное электродинамическое моделирование ЛПВА с тремя вибраторами при помощи программы Ansoft HFSS [3].

Расчет основных параметров антенны осуществлялся на основании выбранного рабочего диапазона (FM диапазон: 87,5–108 МГц). Вначале определяется максимальная рабочая длина волны по формуле (1), а также коэффициент перекрытия рабочего диапазона (2) [4].

$$\lambda_{max} = \frac{c}{f_{min}} = 3,429 \text{ м}, \quad (1)$$

$$B_S = \frac{f_{max}}{f_{min}} = 1,23 \quad (2)$$

Далее производится выбор количества резонаторов в антенне  $N=3$ . После чего находится масштабный коэффициент  $\tau$  из выражения (3):

$$N = 1 + \left( \frac{\ln B_S}{\ln \frac{1}{\tau}} \right), \quad \tau = 0,875 \quad (3)$$

Вычисляем длину самого большого вибратора:

$$l_1 = \frac{\lambda_{max}}{2} = 1,714 \text{ м} \quad (4)$$

Теперь, зная масштабный коэффициент  $\tau$  и длину самого большого вибратора, рассчитываем длины остальных вибраторов и расстояния между ними по формулам (5) и (6):

$$l_{n+1} = l_n * \tau, \quad (5)$$

$$\frac{l_{n+1}}{l_n} = \frac{d_{n+1}}{d_n} = \tau. \quad (6)$$

$l_2 = 1,5 \text{ м}$ ;  $l_3 = 1,312 \text{ м}$ ;  $d_1 = 0,875 \text{ м}$  – расстояние между 3-м и 2-м вибраторами;  $d_2 = 0,766 \text{ м}$  – расстояние между 2-м и 1-м вибраторами;  $a=1,5 \text{ см}$  – радиус вибратора;  $d=5 \text{ см}$  – диаметр проводника;  $D2=7 \text{ см}$  – расстояние между проводниками.

Предложенная конструкция ЛПВА с рассчитанными размерами приведена на рисунке 1.

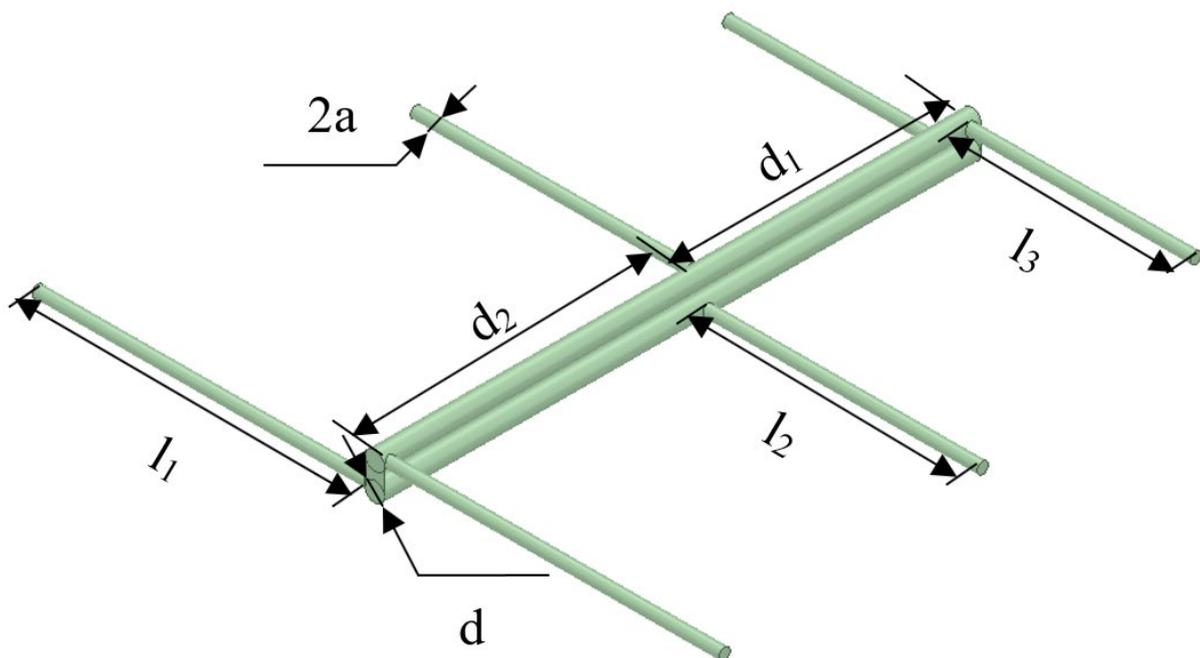


Рисунок 1 – Логопериодическая вибраторная антенна

В результате численного моделирования были рассчитаны основные параметры ЛПВА. На рисунке 2 приведена частотная зависимость коэффициента стоячей волны (КСВ) в FM диапазоне.

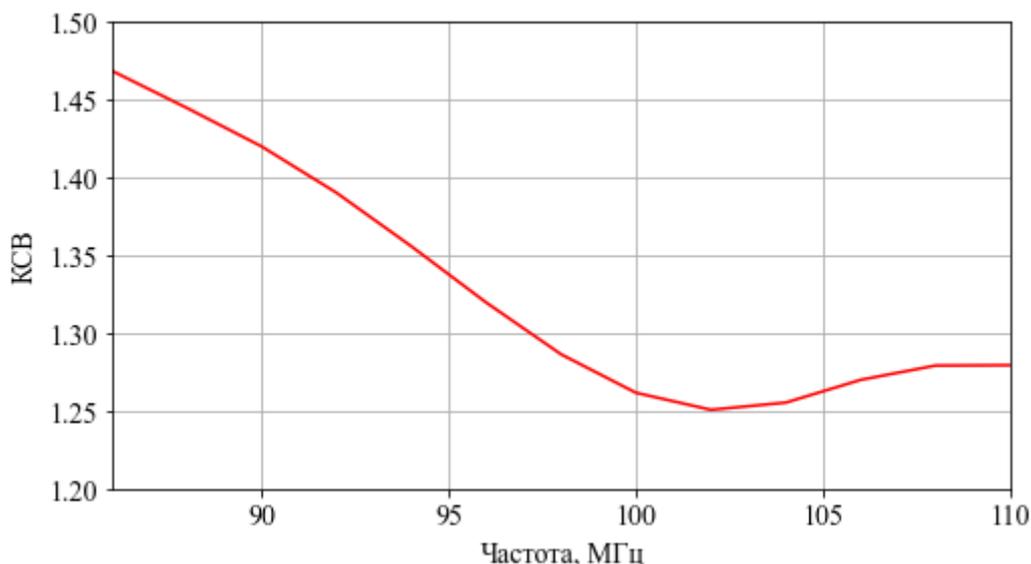


Рисунок 2 – Частотная зависимость коэффициента стоячей волны

Как видно из рисунка 2 значения КСВ лежат ниже 1,47, что свидетельствует о хорошем согласовании антенны во всем рабочем диапазоне.

Ниже, на рисунке 3 представлены диаграммы направленности антенны в Н- и Е-плоскостях на частотах 86, 98 и 110 МГц.

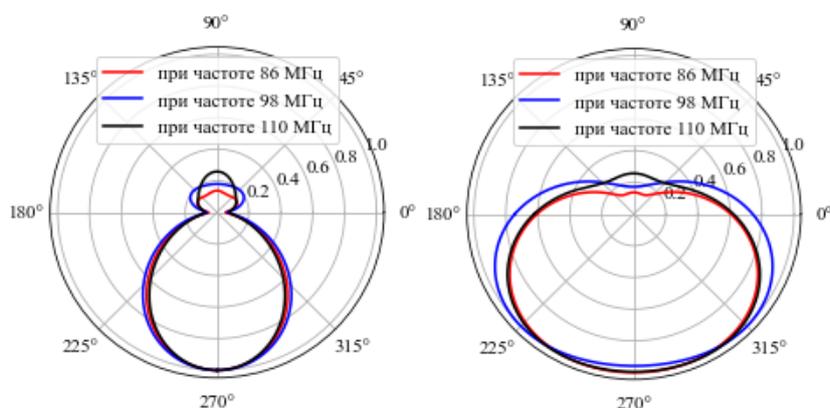


Рисунок 3 – Диаграммы направленности антенны в Н- и Е-плоскостях на 3-х частотах

Предложена конструкция логопериодической вибраторной антенны, работающая в диапазоне 87,5-108 МГц. Проведены расчеты габаритных параметров и частотных характеристик передающей антенны, а также электродинамическое моделирование. Исследование основных характеристик антенны показало, что КСВ не выше 1,47 во всем рабочем диапазоне. Ширина диаграммы направленности в

Е-плоскости составила 100 градусов, в Н-плоскости – 180 градусов. Коэффициент усиления антенны равен 5,8 дБ.

## Литература

1. Антропов, Д. А. Разработка новых видов логопериодических вибраторных антенн с улучшенными техническими характеристиками / Д. А. Антропов, О. Ю. Перфилов, В. Е. Фидельман // Антенны. – 2018. – № 9. – С. 16–20.
2. Антропов, Д. А. Логопериодические вибраторные антенны с улучшенными диапазонными свойствами / Д. А. Антропов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – Вып. 2. – С. 30–36.
3. Банков, С. Е. Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft / С. Е. Банков, А. А. Курушин – М. : ЗАО «НПП «РОДНИК», 2009. – 256 с.
4. Петров, Б. М. Логопериодические вибраторные антенны : учебное пособие для вузов / Б. М. Петров, Г. И. Костромин, Е. В. Горемыкин. – М. : Горячая линия – Телеком, 2005. – 239 с.

**Б. А. Тесёлкин**

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **Л. К. Титова**, ст. преподаватель

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЧАСТИЦ В ФИЗИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Моделирование частиц проще, чем моделирование твердых тел, и мы можем моделировать последние, используя те же принципы, которые используются для твердых тел, но добавляя частицам объем и форму.

Частица – это просто точка в пространстве, имеющая вектор положения, вектор скорости и массу. Согласно первому закону Ньютона, его скорость изменится только при приложении к нему силы. Когда его вектор скорости имеет ненулевую длину, его положение со временем будет меняться.

Чтобы смоделировать систему частиц, нам нужно сначала создать массив частиц с начальным состоянием. Каждая частица должна иметь фиксированную массу, начальное положение в пространстве и

начальную скорость. Затем мы должны запустить основной цикл симуляции, где для каждой частицы мы должны вычислить силу, действующую на нее в данный момент, обновить ее скорость на основе ускорения, создаваемого силой, а затем обновить ее положение на основе скорости мы только что вычислили [1–3].

Сила может исходить из разных источников в зависимости от типа симуляции. Среди прочего, это может быть гравитация, ветер или магнетизм, а может быть и их комбинация. Это может быть глобальная сила, такая как постоянная гравитация, или это может быть сила между частицами, такая как притяжение или отталкивание.

Чтобы симуляция работала в реалистичном темпе, временной шаг, который мы «симулируем», должен быть таким же, как реальное количество времени, прошедшее с момента последнего шага симуляции. Однако этот временной шаг можно увеличить, чтобы симуляция выполнялась быстрее, или уменьшить, чтобы она выполнялась в замедленном режиме.

Предположим, у нас есть одна частица с массой  $m$ , положением  $p(t_i)$  и скоростью  $v(t_i)$  в момент времени  $t_i$ . К этой частице в это время приложена сила  $f(t_i)$ . Положение и скорость этой частицы в будущем времени  $t_{i+1}$ ,  $p(t_{i+1})$  и  $v(t_{i+1})$  соответственно можно вычислить с помощью:

$$\begin{aligned} dt &= t_{i+1} - t_i \\ v(t_{i+1}) &= v(t_i) + (f(t_i)/m)dt \\ p(t_{i+1}) &= p(t_i) + v(t_{i+1})dt \end{aligned}$$

В данном случае производится численное интегрирование обыкновенного дифференциального уравнения движения частицы с использованием полунявного метода Эйлера, который используется в большинстве движков игровой физики из-за его простоты и приемлемой точности для малых значений промежутка времени.

Первоначально при  $t = 0$  частица находится в точке  $p_0$ . Через шаг он движется в том направлении, куда указывал вектор его скорости  $v_0$ . На следующем шаге к нему прикладывается сила  $f_0$ , и вектор скорости начинает изменяться, как если бы его тянуло в направлении вектора силы. На следующих двух шагах вектор силы меняет направление, но продолжает тянуть частицу вверх.

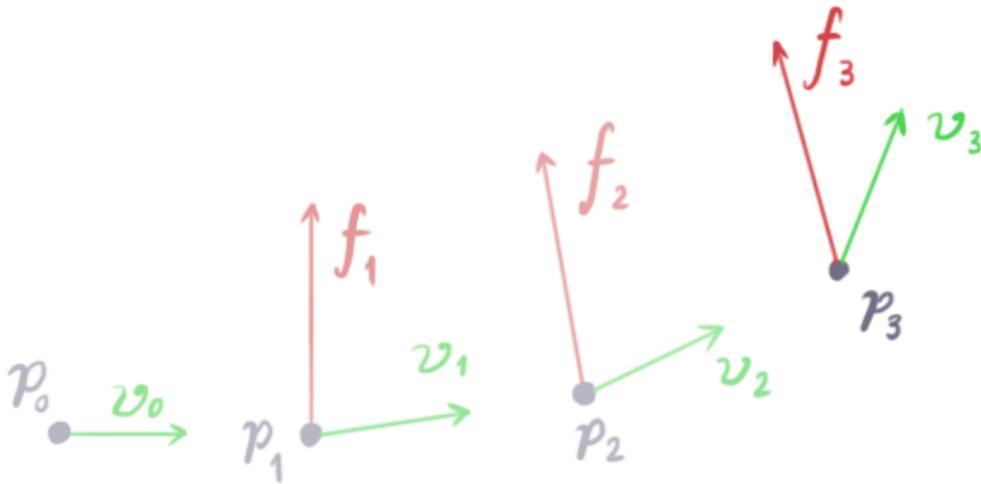


Рисунок 1 – Состояние частицы в различные моменты времени

### Литература

1. Дикинсон, К. Learning Game Object physics with OpenGL engine / К. Дикинсон. – 2-е изд. – Packt Publishing, 2013. – 115 с.
2. Таная, М. Building a Game Physics Engine Using HTML5 / М. Таная. – 1-е изд. – Apress, 2017. – 114 с.
3. Шауэр, Г. Game Physics Cookbook: For newbies and more / Г. Шауэр. – 1-е изд. – Packt Publishing, 2017. – 460 с.

## Секция 3 «Автоматизация исследований»

### Председатели:

Воруев Андрей Валерьевич, канд. техн. наук, доцент.

Бычков Павел Валерьевич, канд. физ.-мат. наук, доцент.

**А. Н. Абдрахманов**

(ОмГУПС, Омск)

Науч. рук. **В. Н. Задорожный**, д-р техн. наук, доцент

### СОЗДАНИЕ ПАРСЕРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ О НОВОСТНЫХ СЮЖЕТАХ

Парсер – это программа, которая анализирует входные текстовые данные, извлекает нужную информацию и на основе полученных данных выдаёт результат в заданном формате.

Общий алгоритм парсинга предполагает, что ваш парсер делает запрос по заданному адресу, получает ответ от сервера в виде HTML страницы, либо в каком-то другом текстовом формате, например CSV, JSON, XML. Далее полученная информация анализируется, из неё извлекаются нужные данные, на основе которых формируется результат. Полученные данные можно вывести на экран, либо записать в файл или БД [1].

Ранее уже создавался парсер для получения данных с новостных сайтов [2]. В данной статье мы расширим его возможности – для удобства пользователя будут добавлены столбцы, позволяющие прочитать полный текст новостного сюжета.

Для сбора новостей выбраны следующие сайты:

– региональное информационное агентство «Омск-Информ» ([www.omskinform.ru](http://www.omskinform.ru));

– сетевое издание БК55 ([www.bk55.ru](http://www.bk55.ru));

– сетевое издание NGS55.RU ([www.ngs55.ru](http://www.ngs55.ru)).

Парсер будет собирать новостные сюжеты, которые были опубликованы за указанный период. В ранее разработанной версии собирались данные, размещенные на электронном ресурсе в течение дня. Новостные сайты имеют встроенные инструменты для фильтрации новостей по дате, что значительно упростит процесс поиска информации.

Парсер будет собирать следующие данные:

- заголовок статьи;
- краткое содержание статьи;
- ссылка на статью;
- текст новостного сюжета.

Программный комплекс написан на языке программирования Python. Для работы программы необходимо использовать библиотеки Requests, BeautifulSoup, Datetime, Openruхl. Для установки библиотек в командной строке вводим `pip install` и название библиотеки.

Пример использования библиотек представлен на рисунке 1.

```
#омскинформ
def parser(dd):
    url = 'https://www.omskinform.ru/calendar/' + dd.strftime("%d-%m-%Y")
    response = requests.get(url)
    soup = BeautifulSoup(response.content, 'html.parser')
    items = soup.findAll('div', class_='n_news')
    for item in items:
        new_news = [item.find('a', class_='n_cap_lnk').get_text(strip = True), item.find('a',
            class_='n_text_lnk2').get_text(strip = True), item.find('a',
            class_='n_cap_lnk').get('href'), '-']
        try:
            url1 = new_news[2]
            response1 = requests.get(url1)
            soup1 = BeautifulSoup(response1.content, 'lxml')
            items1 = soup1.findAll('span', class_='n_text_lnk')
            text=""
            for item1 in items1:
                ps = item1.find_all('p')
                for p in ps:
                    text = text+p.get_text()
            new_news[3]=text
            if text!="":
                news.append(new_news)
        except:
            text=""
```

Рисунок 1 – Сбор данных с сайта [www.omskinform.ru](http://www.omskinform.ru)

Аналогично парсер осуществляет сбор с других сайтов. Параметры сбора данных являются индивидуальными для каждого сайта, так как блоки, в которых хранится информация, имеют разную структуру. Поиск информации на полученном сайте осуществляется по тегам `<div>` и `<span>`.

Разница между тегом `<span>` и тегом `<div>` заключается в том, что элемент `<span>` является строчным и обычно используется для группировки небольших областей строчного HTML кода, а элемент

<div> является блоковым и используется для группировки более крупных областей кода [3].

При этом каждый блок разделен на параграфы с помощью тега <p>. Объединяя данные параграфы в интересующем нас блоке мы получаем текст новостного сюжета.

После того, как программа закончит сбор данных, будет создан файл «новости.xlsx», содержащий четыре столбца:

- столбец «title», который содержит заголовок статьи;
- столбец «message», который содержит краткое содержание статьи;
- столбец «link», который содержит ссылку на статью;
- столбец «news\_text», который содержит текст новостного сюжета.

Пример собранных данных представлен на рисунке 2.

title	Безработным омичам раздают от 100 тысяч до 3 миллионов: где получить деньги?
message	Экономику страны ждут глубокие структурные изменения, которые приведут к росту безработицы. Но можно стать бизнесменом – государство поможет.
link	<a href="https://www.omskinform.ru/news/164303">https://www.omskinform.ru/news/164303</a>
news_text	Экономику страны ждут глубокие структурные изменения, которые приведут к росту безработицы. Но можно стать бизнесменом – государство поможет деньгами на первом этапе. Массовый отток иностранных компаний из России не может не сказаться на рынке труда – эксперты ожидают роста безработицы в стране в самое ближайшее время. По последним данным, из России ушли более 400 иностранных компаний. Очевидно, что многим их сотрудникам придется искать новую работу. Накануне о росте безработицы высказался президент Владимир Путин. – В новых реалиях потребуются глубокие структурные изменения нашей экономики, и не буду скрывать, они будут непростыми, приведут к временному росту инфляции и безработицы. В этой ситуации наша задача – минимизировать подобные риски. Не только строго выполнять все социальные обязательства государства, но и запускать новые, более эффективные механизмы поддержки граждан и их доходов, – заявил Путин на совещании по экономическим вопросам. Безработица в первую очередь будет расти в тех сферах, которые сейчас поставлены на «паузу». Это прежде всего касается сфер реализации модной одежды, иностранных автомобилей, а также фастфуда. В частности, в омском ТЦ «Мега» закрылась едва ли не половина бутиков. В ряде автосалонов персонал отправлен в отпуска.

Рисунок 2 – Данные, собранные в результате работы программы

В ходе научных исследований был разработан парсер, собирающий данные с новостных сайтов и представляющий их в удобном для пользователя варианте.

В будущем планируется оптимизировать код программы на языке Python. Также планируется существенно расширить множество ресурсов, с которых можно будет собирать данные.

## Литература

1. Парсер html контента сайта на PHP [Электронный ресурс] // Записки предприимчивого человека. – URL: <https://seorubl.ru/moi-proekty/parser-html-kontenta-na-php/>. – Дата доступа: 20.03.2022.
2. Абдрахманов, А. Н. Создание программного комплекса для получения данных с новостных сайтов / А. Н. Абдрахманов // Системы управления, информационные технологии и математическое моделирование : Материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Омск, 2021. – Т. 1. – С. 39–43.
3. Span и Div. Учебник HTML для начинающих [Электронный ресурс] // Самоучитель по HTML, CSS, XML. – URL: <https://msiter.ru/tutorials/html-srednego-urovnya/span-i-div>. – Дата доступа: 20.03.2022.

**В. А. Айбулатов**  
(ОмГТУ, Омск)

Науч. рук. **Е. А. Калиберда**, канд. техн. наук, доцент

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ КОМПАНИИ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЙ БИТРИКС24**

Компания «Регион Заказ» занимается поставкой различных товаров, оборудования и услуг в бюджетные организации городов, районов и сел по всей России. Основные регламенты работы регулируются согласно 44-ФЗ и 223-ФЗ о закупках, в связи с некоторыми требованиями о работе с бюджетными организациями, на сотрудников компании поставщика приходится большая доля нагрузки за рабочий период.

Существенной проблемой организаций поставщиков является высокая нагрузка персонала, в связи с большим количеством заявок за короткий промежуток времени, требования к ускоренному документообороту и необходимость согласования различных этапов работы с руководителем, бухгалтером и другими ответственными лицами. Также в настоящий период времени ощущается острый дефицит бумажных носителей, что создает дополнительные расходы для компании, с учетом больших объемов оборота бумаги за день. Следовательно, для компании необходима автоматизация основных бизнес-процессов.

Для автоматизации основных бизнес-процессов, компания произвела переход на CRM-систему «Битрикс24». Эта система является инструментом управления взаимоотношений как с клиентом, так и с сотрудниками внутри организации [1]. Основными преимуществами системы является общедоступность информации, наличие электронного документооборота, облачное хранение документации, встроенный мессенджер и возможность детального отслеживания каждого этапа работы.

В системе «Битрикс24» имеется возможность прикрепления документации к «Карте сделки» с клиентом, доступ к просмотру, редактированию имеет только руководитель отдела, который по своему усмотрению может выдать права доступа любому сотруднику организации для своевременного контроля или оказания консультативной помощи.

Эти и многие другие принципы позволяют сократить время полного цикла сделки с одним клиентом, и начать выполнение нового цикла за более короткий промежуток времени, что в перспективе позволит эффективно распределять рабочее время и увеличит прибыль компании за отчетный период.

Процесс сделки начинается с момента, когда менеджеру приходит заявка на товар, далее он связывается с заказчиком, выявляя более детальную информации о конкретных потребностях [2]. После этого происходит составление коммерческого предложения (далее – КП) на товар и согласование с заказчиком. Когда заказчик согласен на условия КП, менеджер ставит задачу в «Битрикс24» логисту, который, исходя из характеристик товара и удаленности заказчика от пункта формирования, просчитывает стоимость логистических услуг, форма для просчета логистики представлена на рисунке 1. Далее логист прикрепляет информации о стоимости услуг к сделке менеджера и завершает задачу, в то же время в системе «Битрикс24» появляется уведомление для менеджера, о выполнении логистом своей задачи. На следующем шаге менеджер согласовывает стоимость услуг с заказчиком и переходит на этап оформления договора. После подписания договора с обеих сторон происходит реализация договора, итогом реализации является поставленный товар.

Для того, чтобы со временем полностью перенести работу в информационное поле, необходимо не забывать прикреплять документы к сделкам внутри системы, которая использует принципы облачных технологий.

Рисунок 1 – Просчет логистики

На рисунке 2 приведена разработанная форма для изменения стадии сделки, с возможностью прикрепления необходимых документов.

Рисунок 2 – Изменение стадии сделки

Внедренная автоматизация на основе решений системы «Битрикс24» позволит сотрудникам компании тратить в среднем на 30 минут меньше времени на обработку одной сделки. Позволит более качественно распределять человеческие ресурсы, отслеживать эффек-

тивность сотрудников и вносить корректировки в рабочий процесс, что приведет к повышению прибыли компании за отчетный период.

## Литература

1. Нелис, Й. Управление бизнес-процессами : Практическое руководство по успешной реализации проектов / Й. Нелис, Д. Джестон. – СПб. : Символ-плюс, 2015. – 512 с.
2. «Битрикс 24»: задачи и проекты [Электронный ресурс] / Официальный сайт ИУП «1С-Битрикс». – URL: <https://www.bitrix24.ru/features/tasks.php>. – Дата доступа: 21.03.2022.

**Г. А. Антонов**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. В. Андреев**, д-р физ.-мат. наук, профессор

## ВОЗМОЖНОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА ПЛАТФОРМЫ .NET

Платформа .NET Framework – это технология, которая поддерживает создание и выполнение веб-служб и приложений Windows, запуск .NET Framework произошел в 2002 году.

Платформа .NET поддерживает множество языков программирования, если быть точным, около 32. Он работает как полный стек, который поддерживает как интерфейс, так и язык программирования серверной части. Здесь мы увидим некоторые из основных языков программирования: C #; F #; визуальные основы – Windows Forms; а также другие языки: Boo, Cobra, Phantom, Python, Oxygen, Sharp и т. д.

Платформа .NET является одним из лучших продуктов, которые создала компания Microsoft. Фреймворк .NET представляет мощную платформу для создания приложений. Возможность работы с большим количеством языков уже делает платформу .NET одной из лучших на рынке разработки приложений.

Основным компонентом платформы .NET Framework является общезыковая среда выполнения программ CLR. Название среды – «общезыковая среда выполнения» – говорит само за себя: это исполняющая среда, которая подходит для различных языков программирования. Она занимается компиляцией кода, выполнением кода, освобождением ресурсов, обработкой исключений, управлением памятью.

Безусловно можно отметить, что без этого замечательного компонента, платформа .NET вряд ли бы сумела обрести такую популярность среди сообщества разработчиков программ.

Следующим, не менее важным, компонентом .NET Framework является FCL – библиотека классов платформы.

Библиотека классов, представляет полную объектно-ориентированную коллекцию типов, которые применяются для разработки приложений, начиная от обычных, запускаемых из командной строки или с графическим интерфейсом пользователя, и заканчивая приложениями, использующими последние технологические возможности ASP.NET, такие как Web Forms и веб-службы XML. Проще говоря, это огромный ящик инструментов, любезно подготовленный компанией Microsoft, для облегчения жизни разработчика.

Вкратце перечислив компоненты платформы, нельзя не упомянуть о том для разработки чего эти компоненты служат, и так к вашему вниманию список того, что вы можете создавать с помощью этой платформы:

- Программирование для Windows;
- Программирование для Web;
- Разработка распределенных корпоративный приложений;
- Кроссплатформенное программирование;
- Разработка для мобильных устройств;
- Программирование микроконтроллеров;
- Создание игр;
- Программирование на системном уровне.

Ниже представляю к вашему вниманию, последний, опубликованный компанией Microsoft, план развития платформы (рисунок 1).

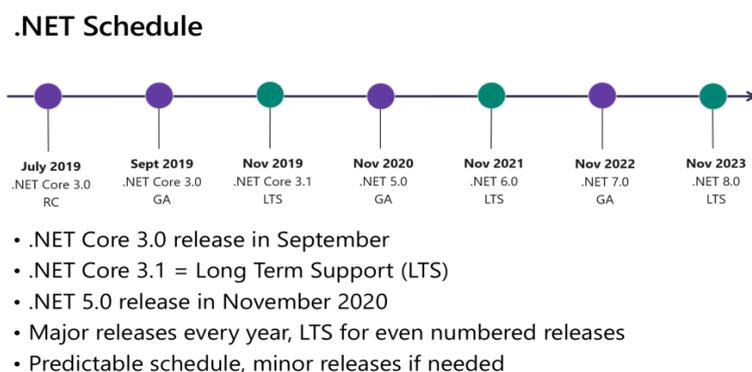


Рисунок 1 – План развития платформы .NET

Microsoft вкладывает огромные усилия в развитие .NET. Это перспективный инструмент, который продолжает совершенствоваться до сих пор, несмотря на то что платформа вот-вот отметит свой 20-ти летний юбилей.

Начав изучения языка C# я и не мог подумать, что выбрал столь разносторонний язык с многочисленными возможностями в разработке приложений. Перспективным в настоящее время стало направление web разработки, являющимся одним из самых востребованных на рынке. Процесс разработки моего web-приложения для дистрибуции билетов на культурно массовые мероприятия с использованием платформы .NET включает:

- Планировка логики работы приложения и взаимодействия пользователей с ним;
- Разработку бизнес-логики приложения;
- Разработка архитектуры базы данных;
- Создание базы данных с использованием СУБД MSsqlServer;
- Разработку UI(web-интерфейса) для взаимодействия пользователя с приложением;

Я считаю, что использование данной разработки позволит пользователям легко обмениваться или продавать билеты друг-другу на интересные их мероприятия, так же я рассматриваю возможность внедрения функционала, который позволит площадкам проведения мероприятия осуществлять коммерческую продажу билетов пользователям.

**П. В. Асвинова**

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

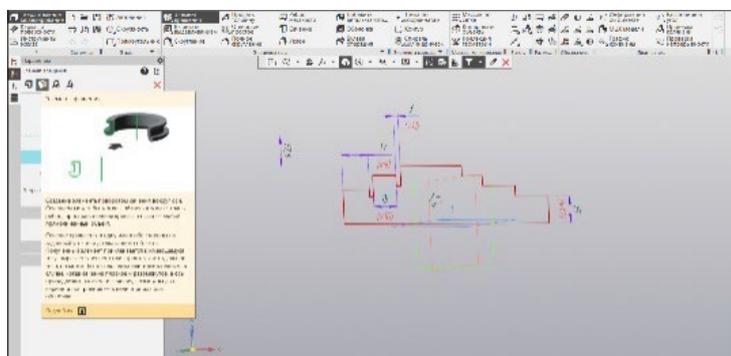
Науч. рук. **О. А. Лапко**, ассистент

## **ПОСТРОЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ РЕДУКТОРА С ПОМОЩЬЮ ГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОМПАС НА ПРИМЕРЕ ДЕТАЛИ ТИПА ВАЛ**

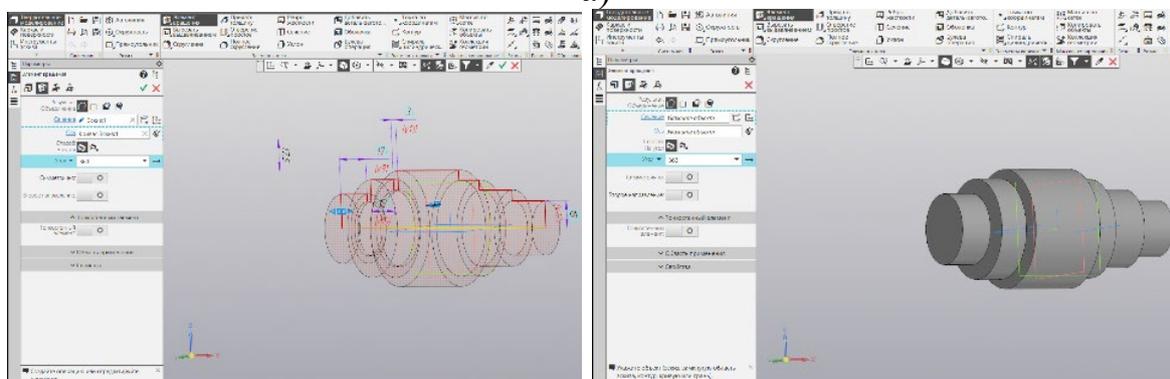
Современное машиностроение характеризуется повышением требований к геометрическим параметрам качества изготовления поверхностей деталей – точности получаемых размеров, отклонений формы, взаимного расположения поверхностей, их волнистости и шероховатости [1].

Целью работы является с использованием графической системы КОМПАС показать эффективность, точность чертежа и экономию времени [2, 3] на примере построения детали типа вал – элемента цилиндрического редуктора.

Чертеж вала в компасе 3D начинается с создания новой детали. Затем необходимо выбрать плоскость, в которой будет строиться эскиз. Выбирается команда отрезок – это будет ось будущего вала, далее необходимо начертить верхнюю часть контура вала, с помощью команды отрезок, задаваясь необходимыми размерами, указывая все необходимые цилиндрические ступени, проточки и фаски. Далее, отжимая кнопку эскиз, выбирается команда элемент вращения, указывается ось, вокруг которой вращается вал.



а)



б)

в)

Рисунок 1 – Этапы построения чертежа вала: а – начало построения; б – первый этап; в – второй этап.

Следующий этап – изготовление шпоночных пазов, для этого необходимо зайти во вкладку приложения-механика-валы и механические передачи 3D-разъемные соединения-шпоночный паз. В появившемся окне необходимо выбрать тип шпоночного паз.

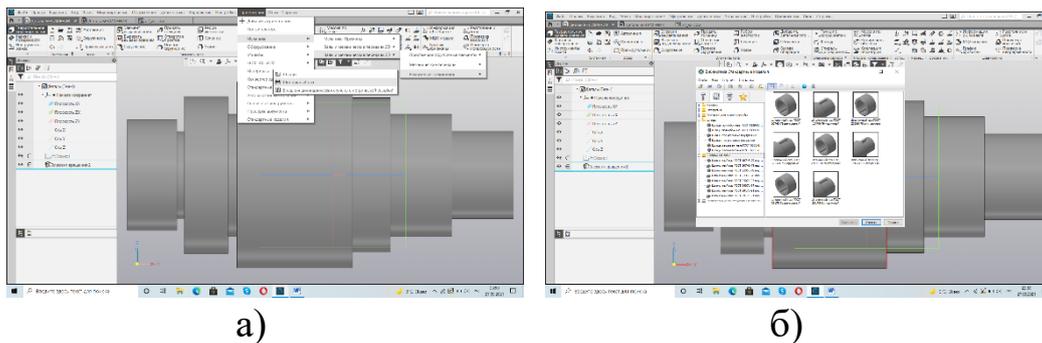


Рисунок 2 – Этапы построения шпоночного паза на чертеже вала

В панели позиционирования выбирается начальная грань, указывается расстояние, на котором будет построен шпоночный паз от данной грани и указываем цилиндрическую поверхность, на которой будет построен сам шпоночный паз. Компас сам подбирает размеры шпоночного паза для указанной поверхности и размеров.

Для построения шлицев необходимо зайти в приложения-механика-валы и механические передачи 3D-разъемные соединения-шлицы. Задать поверхность, на которой будут располагаться шлицы и компас их построит.

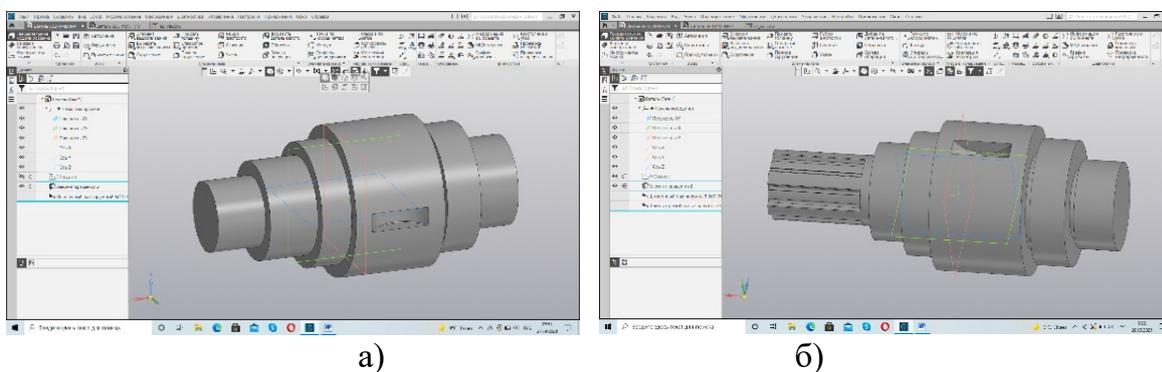


Рисунок 3 – Шпоночный паз на чертеже вала а) и построение шлицев на чертеже вала б)

Использование системы КОМПАС и библиотек машиностроительного профиля в процессе создания элементов цилиндрического редуктора позволяет сократить общее время проектирования рабочих чертежей деталей машин в 1,5–2 раза.

## Литература

1. Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – М. : Высшая школа, 2001. – 447 с.

2. Компьютерное моделирование в инженерной графике / П. В. Асвинова // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях : материалы XXIV Республиканской научной конференции студентов и аспирантов (Гомель, 22–24 марта 2021 г.) ; редкол. : С. П. Жогаль (гл. ред.) [и др.]. – 2021. – С. 35–36.

3. Асвинова, П. В. Вопросы применения машинной графики при решении технических и технологических задач машиностроения / П. В. Асвинова, О. А. Лапко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 22–23 апр. 2021 г. В 2 ч. Ч. 2 ; под общ. ред. А. А. Бойко. – 2021. – 307 с.

**Н. С. Бабич**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **РАБОТА СО СДЕЛКАМИ И КЛИЕНТАМИ В CRM-СИСТЕМЕ ДЛЯ ТОРГОВОЙ КОМПАНИИ**

Разработана часть CRM-системы, реализующая следующие функции:

- создание карточек клиентов;
- изменение статусов клиентов;
- создание сделок;
- редактирование информации о сделке;
- изменение статуса сделки;
- просмотр текущей информации о сделке;
- просмотр этапов сделок и воронок продаж.

Для хранения данных об этапах, база данных была дополнена четырьмя коллекциями – Deals (сделки), Leads (клиенты), DealStatus (статусы сделок), LeadStatus (статусы клиентов).

Для начала работы в CRM-системе необходимо авторизоваться. Свободной регистрации в системе нет.

Для работы со сделками и клиентами созданы соответствующие разделы.

Раздел «Лиды» содержит данные обо всех хранящихся в системе клиентах в виде карточек, отсортированных по воронкам. В правом верхнем углу при нажатии на кнопку «Новый» перед пользователем

появляется окно для заполнения данных о потенциальном клиенте. Статусы потенциальных клиентов подразделяются на «Новые», «Обработка», «Квалифицированные» и «Неквалифицированные». Статусы «Квалифицированные» и «Неквалифицированные» являются финальными.

Раздел «Сделки» содержит данные о всех текущих сделках в CRM-системе в виде карточек, также отсортированных по воронкам. Аналогично разделу «Лиды», при нажатии на кнопку «Новый» перед пользователем появляется окно для заполнения данных о сделке. Статусы сделок подразделяются на «Новые», «Первичный контакт», «В работе», «Обсуждение договора», «Заключение договора», «Закрыта успешно» и «Закрыта неуспешно». Статусы «Закрыта успешно» и «Закрыта неуспешно» являются финальными.

При нажатии на карточку, перед пользователем отображается вся текущая информация о сделке и его ответственный исполнитель. Для редактирования данных о сделке необходимо нажать на кнопку «Редактировать».

При разработке приложения использованы следующие технологии: язык серверных скриптов PHP, пакетный менеджер Composer, web-фреймворк Bootstrap, web-фреймворк Laravel, система управления базами данных MySQL.

**Е. В. Багатыревич, А. А. Пудловский**  
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. М. Кадан**, канд. техн. наук, доцент

## **ТУРНИР «AI CUP BATTLES». АСПЕКТЫ ПРОВЕДЕНИЯ И ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ**

Геймификация образования давно уже признана во всем мире эффективной формой повышения интереса обучаемых к изучаемым учебным дисциплинам и специальностям. Не нуждаются в рекламе соревнования по спортивному программированию в формате ACM, олимпиада «IT-Планета» для выявления и поддержки молодых специалистов ИТ-сферы, движение молодых профессионалов WorldSkills и многие другие соревнования, олимпиады и конкурсы.

Так же и развитие методов искусственного интеллекта (AI) породило новый вид соревнований - чемпионаты по программированию AI. Обычно участники таких соревнований реализуют игровые стра-

тегии (программы-боты), которые состязаются друг с другом в виртуальном мире. В ходе таких соревнований участники получают возможность проверить не только свои навыки программирования, запрограммировав некую стандартную AI-стратегию, но и построить собственную интеллектуальную стратегию, управляющую юнитом в специальном игровом окружении.

Среди соревнований в области AI [1] достаточно известны такие, как AI Cup – открытый чемпионат по программированию искусственного интеллекта компании Mail.Ru Group [2]; Google AI Challenge – международный конкурс программирования искусственного интеллекта [3], начатый Клубом Компьютерных наук университета Ватерлоо. Аспекты программирования AI активно обсуждаются на ряде технических форумов, в частности [4]. В связи с открытием в Гродненском государственном университете им. Янки Купалы подготовки по специальности «Искусственный интеллект», также был проведен подобный турнир - «AI Bot Battles 2021» [5].

Участникам турнира предстояло написать программу-бот для легендарной игры «Змейка». Такая игра была выбрана преднамеренно, так как за всё время было создано огромное количество игр данного типа, так что понимание сути задания и главной цели стратегии не вызвало проблем у участников. Игра представляет собой стратегию, в которой вам предстоит управлять «змейкой», собирать яблоки. Игра заканчивается если достигнуто максимальное количество тиков, либо если чья-то змейка совершила недопустимый ход. Задача вашего бота, в первую очередь - не столкнуться с препятствиями и телом чужой змейки, и в то же время набрать большее количество очков.

При разработке этого проекта преследовались, прежде всего, две основные задачи. Первая – это непосредственно развивать и совершенствовать на практике навыки написания и последующей доработки программ. Вторая – позволить всем желающим попробовать себя в роли программиста, самим сделать небольшого бота, в процессе создания которого у них будет возможность получить общее представление о профессии, а для тех, кто уже выбрал программирование как карьеру – оценить свой уровень умений, попрактиковаться для профессионального роста, взглянуть на написание кода с более общей, увлекательной стороны.

Сама по себе идея программирования ботов не является новой, и часто имеет совершенно различные цели и направленность. Один из самых знаменитых примеров – создание командой энтузиастов бота AlphaGo [6] для игры в го с применением технологий машинного

обучения, которая была и остается по-настоящему революционной как в машинном обучении, так и в самой игре. Ещё один яркий пример, но уже для обучения начинающих специалистов – OpenAI Gym [7] от компании OpenAI. Там можно найти множество различных игр на любой вкус и потренироваться в создании стратегий для них.

Схожая концепция и у нашего соревнования, проведение которого планируется в 2022 году. Но, в отличие от OpenAI Gym, здесь игрок пишет стратегию не для общего оптимального решения задачи, а для непрямого соревнования с другим игроком. Основа данного соревнования была взята с уже проведённого в Беларуси на базе ГрГУ им. Янки Купалы турнира «AI Bot Battles 2021». Но правила игры несколько поменялись: для выравнивания баланса между двумя соревнующимися ботами было добавлено второе яблоко, а для разнообразия конфигураций игрового поля были добавлены стены.

Для разработки игровой стратегии предлагается пакет модулей на языке Python, который является одним из самых популярных языков программирования на данный момент, имеет большое сообщество, много обучающих материалов, популярен среди студентов технических специальностей и школьников, что позволит привлечь больше участников. Для удобства проведения соревнований разработается сайт, на который участники и будут загружать свои решения. Создаётся «песочница», в которой можно тестировать свои решения и в короткие сроки узнавать результат игры своего бота. Само по себе создание бота участником предполагает как развитие общих навыков программирования на Python (знакомство с основными функциями языка, структурой классов и методов и др.), так и применение творческого подхода, фантазии, продумывания различных вариантов поведения своего бота и бота соперника. В ходе разработки игровой стратегии и реализации ее в виде игрового бота не требуется придерживаться какого-либо единственного подхода, поэтому игроки могут сами выбирать различные алгоритмы и стратегии поведения. Это даёт возможность лучше узнать программирование как творческое занятие, делает соревнования интереснее и зрелищнее.

Этот проект был создан для того, чтобы улучшить навыки программирования участников и развеять представление о том, что создание искусственного интеллекта – это что-то сложное. Если он будет тепло встречен своей аудиторией, то мы планируем в будущем создать ещё одно подобное соревнование, и вы снова сможете принять участие.

## Литература

1. Competitions and prizes in artificial intelligence [Электронный ресурс] // Wikipedia, the free encyclopedia. – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Competitions\\_and\\_prizes\\_in\\_artificial\\_intelligence](https://en.wikipedia.org/wiki/Competitions_and_prizes_in_artificial_intelligence). – Дата доступа: 20.03.2022.
2. AI Cup – соревнование по программированию искусственного интеллекта [Электронный ресурс] / CodeCraft 2020. – URL: <https://russianaicup.ru/>. – Дата доступа: 20.03.2022.
3. Google AI challenge [Электронный ресурс] // Wikipedia, the free encyclopedia. – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/AI\\_Challenge](https://en.wikipedia.org/wiki/AI_Challenge). – Дата доступа: 20.03.2022.
4. Игровая логика и ИИ [Электронный ресурс] // Технический форум. GameDev.ru – Разработка игр. – URL: <https://gamedev.ru/code/forum/?ai>. – Дата доступа: 20.03.2022.
5. Итоги финала конкурса AI Bot Battle [Электронный ресурс] // Сайт факультета математики и информатики ГрГУ им. Янки Купалы. – URL: <http://mf.grsu.by/news/attach?i=130&imp=s&lstart=0>. – Дата доступа: 20.03.2022.
6. AlphaGo [Электронный ресурс] // Wikipedia, the free encyclopedia. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/AlphaGo>. – Дата доступа: 20.03.2022.
7. OpenAI Gym [Электронный ресурс] // Gym: A toolkit for developing and comparing reinforcement learning algorithms. – URL: <https://gym.openai.com/>. – Дата доступа: 20.03.2022.

**П. М. Баль**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **М. А. Подалов**, ст. преподаватель

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ARDUINO NANO ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОБИЛЬНОГО BLUETOOTH АУДИОПРОИГРЫВАТЕЛЯ**

В общих чертах цифровой аудио проигрыватель состоит из устройства хранения файлов, встроенного процессора и микрочипа для преобразования сжатого звука из файла в аналоговый звуковой сигнал.

Большинство аудиоплееров рассчитаны на питание от аккумуляторной батареи, некоторые из которых не подлежали замене пользо-

вателем. Многие имеют разъём 3,5 мм. Музыка можно слушать с наушниками или через внешний динамик.

Файлы записываются на плеер, как правило, через синхронизацию, при подключении устройства к персональному компьютеру, как правило, через USB. Некоторые передовые плееры позволяют проводить синхронизацию по беспроводному соединению, например, через Bluetooth [1].

Цифровой аудиоформат – формат представления звуковых данных, используемый при цифровой звукозаписи, а также для дальнейшего хранения записанного материала на компьютере и других электронных носителях информации, так называемых звуковых носителях.

Аудиофайл (файл, содержащий звукозапись) – компьютерный файл, состоящий из информации об амплитуде и частоте звука, сохранённой для дальнейшего воспроизведения на компьютере или проигрывателе.

Существуют различные понятия звукового формата.

Формат представления звуковых данных в цифровом виде зависит от способа квантования аналогово-цифровым преобразователем (АЦП). В звукотехнике в настоящее время наиболее распространены два вида квантования:

- импульсно-кодовая модуляция;
- сигма-дельта-модуляция.

Зачастую разрядность квантования и частоту дискретизации указывают для различных звуковых устройств записи и воспроизведения как формат представления цифрового звука (24 бита/192 кГц; 16 бит/48 кГц) [2].

Основой проекта была выбрана плата-усилитель ХН-А153, так как она компактна и в то же время имеет достаточный набор функций для реализации проекта: Bluetooth 5.0 и держателем литиевой батареи 18650, два стереоусилителя класса D РМ8403 3 Вт. Эта плата используется для соединения с смартфоном через Bluetooth 5.0, усиления и вывода звукового сигнала на динамик.

Для управления светомузыкальным эффектом был использован микроконтроллер ATmega328P на платформе Arduino Nano. Для написания кода прошивки использовалась интегрированная среда разработки Arduino IDE и язык программирования Wiring.

Bluetooth – производственная спецификация беспроводных персональных сетей (Wireless personal area network, WPAN). Bluetooth обеспечивает обмен информацией между такими устройствами, как персональные компьютеры (настольные, карманные, ноутбуки), мо-

бильные телефоны, интернет-планшеты, принтеры, цифровые фотоаппараты, мыши, клавиатуры, джойстики, наушники, гарнитуры и акустические системы на надёжной, бесплатной, повсеместно доступной радиочастоте для ближней связи.

Bluetooth позволяет этим устройствам общаться, когда они находятся друг от друга в радиусе около 100 м в старых версиях протокола и до 1500 м начиная с версии Bluetooth 5. Дальность сильно зависит от преград и помех, даже в одном помещении.

Принцип действия основан на использовании радиоволн. Радиосвязь Bluetooth осуществляется в ISM-диапазоне (англ. Industry, Science and Medicine), который используется в различных бытовых приборах и беспроводных сетях. Частоты Bluetooth: 2,402 – 2,48 ГГц (в мегагерцах 2402 – 2480 МГц). В Bluetooth применяется метод расширения спектра со скачкообразной перестройкой частоты (англ. Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS). Метод FHSS прост в реализации, обеспечивает устойчивость к широкополосным помехам, а оборудование недорогое.

Согласно алгоритму FHSS, в Bluetooth несущая частота сигнала скачкообразно меняется 1600 раз в секунду (всего выделяется 79 рабочих частот шириной в 1 МГц, а в Японии, Франции и Испании полоса уже – 23 частотных канала). Последовательность переключения между частотами для каждого соединения является псевдослучайной и известна только передатчику и приёмнику, которые каждые 625 мкс (один временной слот) синхронно перестраиваются с одной несущей частоты на другую. Таким образом, если рядом работают несколько пар приёмник-передатчик, то они не мешают друг другу. Этот алгоритм является также составной частью системы защиты конфиденциальности передаваемой информации: переход происходит по псевдослучайному алгоритму и определяется отдельно для каждого соединения. При передаче цифровых данных и аудиосигнала (64 кбит/с в обоих направлениях) используются различные схемы кодирования: аудиосигнал не повторяется (как правило), а цифровые данные в случае утери пакета информации будут переданы повторно.

Протокол Bluetooth поддерживает не только соединение «point-to-point», но и «point-to-multipoint» [3].

Для реализации проекта мобильного аудио проигрывателя была выбрана платформа Arduino. Список используемых компонентов:

- Bluetooth плата ХН-А153;
- Arduino Nano;
- RGB лента;

- Профиль для RGB ленты;
- Повышающий модуль MT3608 DC-DC;
- Драйвер шагового двигателя L9110s.

Для питания ленты будут использоваться 12 вольт с повышающего модуля. Драйвер будет использоваться для управление свечением адресной RGB ленты, используемой для получения светомузыкального эффекта. Светорассеивающий профиль используется для мягкого рассеивания света от RGB ленты и получения более приятного свечения.

## Литература

1. Плеер (проигрыватель) [Электронный ресурс] / Свободная энциклопедия Wikipedia. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Плеер\\_\(проигрыватель\)#Цифровой\\_аудиопроеигрыватель](https://ru.wikipedia.org/wiki/Плеер_(проигрыватель)#Цифровой_аудиопроеигрыватель) – Дата доступа: 21.03.2022.
2. Цифровые аудиоформаты [Электронный ресурс] / Свободная энциклопедия Wikipedia. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Цифровые\\_аудиоформаты](https://ru.wikipedia.org/wiki/Цифровые_аудиоформаты) – Дата доступа: 21.03.2022.
3. Bluetooth [Электронный ресурс] / Свободная энциклопедия Wikipedia. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Bluetooth> – Дата доступа: 21.03.2022.

## П. С. Бискуб

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. М. Березовская**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## РАЗРАБОТКА ДИЗАЙНА WEB-САЙТА «ФУТБОЛ БЕЛАРУСИ»

В данное время web-разработка развивается в стремительном темпе. Появляются новые фреймворки и прочие библиотеки для разработки более сложных и масштабных приложений. Одна из таких библиотек – Vue.js.

Целью работы является разработка дизайна web-приложения «Футбол Беларуси». Данное приложение включает в себя:

1. Страница просмотра всех команд, участвующих в турнире.
2. Просмотр турнирной таблицы.

3. Просмотр набранных очков каждой команды, количество сыгранных игр за турнир, количество игр за турнир.

4. Страница просмотра каждой отдельной команды, которая будет содержать: информацию о команде, список участников команды и информацию о каждом игроке.

Данные турнирной таблицы Белорусской лиги хранятся в базе данных и связываются с web-приложением с помощью библиотеки Axios.

Главная страница web-приложения содержит информацию о турнирной таблице и меню навигации (рисунок 1).

Football Viewer БЕЛОРУССКИЕ КОМАНДЫ МИРОВОЙ РЕЙТИНГ

**Белорусская лига**

№	Название	И	В	Н	П	Забито	Пропущено	Очков
1	Шахтёр	30	24	3	3	62	18	75
2	БАТЭ	30	19	8	3	61	27	65
3	Динамо Мн Минск	30	19	5	6	55	20	62
4	Гомель	30	17	8	5	57	23	59
5	Рух Брест	30	16	10	4	52	28	58
6	Динамо Бр	30	8	14	8	32	32	38
7	Витебск	30	9	10	11	37	41	37
8	Торпедо БелАЗ	30	10	6	14	38	43	36
9	Слудск	30	9	8	13	36	44	35
10	Ислочь	30	9	7	14	38	47	34

Рисунок 1 – Главная страница web-сайта «Футбол Беларуси»

Дизайн web-приложения разработан с помощью таких библиотек, как Vue.js, Vuetify.js, Vue Router и Vite. Приложение написано при соблюдении всех правил архитектуры программирования. Структура сайта понятна и проста в освоении для любого пользователя.

**В. Ю. Бурикин, А. А. Кончиц**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. И. Сукач**, канд. техн. наук, доцент

## АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТ ПО ИЗВЛЕЧЕНИЮ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ С САЙТА CDC И ЗАНЕСЕНИЮ ИХ В БАЗУ ДАННЫХ

**Введение.** В статье излагается один из подходов, который разработан для эффективного автоматического извлечения демографических данных с сайта CDC (Center for Disease Control and Prevention)

[1], надёжного и оптимального хранения в удалённой базе данных. Для этого предлагается использовать API (Application Programming Interface) [2], с помощью которого реализовано получение данных с удалённого сервера в формате JSON. Обработка и запись данных реализована с использованием языка программирования Python. Хранение данных обеспечивается посредством создания базы данных.

**Инструментарий для хранения данных, полученных с удалённого сервера.** Предполагается, что данные будут храниться на удалённом сервере в специально созданной для них базе данных. Для этих целей было решено использовать XAMPP – кроссплатформенный комплект программ, который содержит веб-сервер, базу данных, интерпретатор скриптов PHP, Phpmyadmin, Perl, Apache и ещё много других библиотек, которые позволяют запустить полнофункциональный веб-сервер. Для определения базы данных запускаются все необходимые инструменты и используется веб-приложение, представляющее собой веб-интерфейс для администрирования СУБД MySQL. С помощью SQL-запросов сначала создается новая база данных, а потом и отдельная таблица со всеми необходимыми полями, в которой будут находиться получаемые с сайта данные.

**Инструментарий для получения данных с сайта.** Для извлечения данных с сайта CDC, переходим в каталог данных сайта CDC и в параметрах поиска выбираем Datasets. В результате получаем доступ ко всем доступным базам данных сайта. Выбираем нужный нам Datasets.

В начале страницы, нажав кнопку Export, мы получаем возможность вручную скачать данные в нужном нам формате, но нас это не интересует. Наша цель автоматизировать процесс их получения. Для этого жмём на кнопку API. Появляется небольшое окно, в нём содержится информация про это API. Также тут видим ссылку на эти данные в формате CSV или JSON, на выбор. Чуть позже мы воспользуемся ею.

Нажав на Developer Portal, мы переходим на сайт, в котором предоставлена вся информация об API, используемом на сайте CDC (рисунок 1). Подробно изучаем всю информацию для правильного ее использования.

Для автоматизации работ по извлечению и систематизации данных использовался язык программирования Python. Был создан новый проект, выбрана версия Python, указано место хранения, и некоторые другие параметры. Были скачаны и импортированы библиотеки, необходимые для выполнения поставленной задачи.

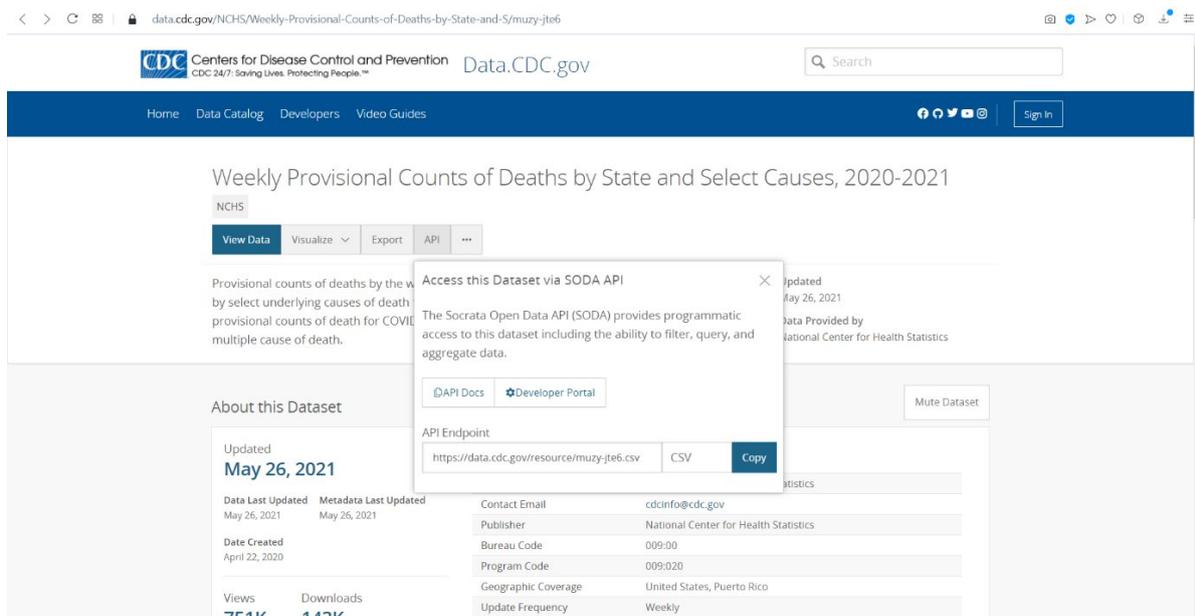


Рисунок 1 – Окно помощи по API для разработчиков

Выполнение Get-запроса по ссылке, которая была получена от API сайта, позволило получить нужные нам данные в формате JSON. Далее эти данные были занесены в переменную. В модуле json были использованы функции load() и loads() для превращения кодированных данных JSON в объекты Python.

Затем полученные данные были занесены в базу данных. Для этого был получен к ней доступ и запущен процесс подключения: указан хост, имя пользователя, пароль и название базы данных, к которой запланировано подключение.

Организация цикла позволила просмотреть данные и выбрать необходимые значения из соответствующих столбцов, которые были записаны в соответствующие переменные для каждого столбца спроектированной базы данных. Наконец, реализуется перемещение готовых данных в подключённую базу данных. Полученные данные записываются в соответствующий столбец подготовленной нами таблицы.

Просмотр содержимого базы данных позволяет убедиться в наличии обработанных структурированных данных, которые просты для понимания и готовы для статистического анализа, моделирования и прогнозирования (рисунок 2).

**Заключение.** Одним из способов получения, обработки и хранения данных больших объёмов данных может быть использование современных технологий API, баз данных языка программирования Python. В статье описаны результаты создания системы, которая автоматизирует извлечение, обработку и запись в базу данных инфор-

мации с сервера CDC. Способ является перспективным и универсальным, он может применяться для получения данных с любых других удаленных серверов.

Data_As_Of	Jurisdiction_of_Occurrence	MMWR_Year	MMWR_Week	Week_Ending_Date	All_Cause	Natural_Cause	Septicemia	Malignant_neoplasms	Diabetes_mellitus	Alzhei
2022-01-12T00:00:00.000	United States	2020	1	2020-01-04	60173	55007	843	11569	1829	2537
2022-01-12T00:00:00.000	United States	2020	2	2020-01-11	60743	55759	861	11963	1941	2566
2022-01-12T00:00:00.000	United States	2020	3	2020-01-18	59359	54514	829	11701	1819	2491
2022-01-12T00:00:00.000	United States	2020	4	2020-01-25	59158	54396	828	11879	1864	2517
2022-01-12T00:00:00.000	United States	2020	5	2020-02-01	58826	53996	811	11963	1828	2480
2022-01-12T00:00:00.000	United States	2020	6	2020-02-08	59478	54409	806	11704	1957	2515
2022-01-12T00:00:00.000	United States	2020	7	2020-02-15	58808	53966	792	11806	1848	2537
2022-01-12T00:00:00.000	United States	2020	8	2020-02-22	58906	53983	779	11780	1880	2515
2022-01-12T00:00:00.000	United States	2020	9	2020-02-29	59339	54318	813	11790	1831	2519

Рисунок 2 – Окно с данными с сайта в базе данных

## Литература

1. Center for Disease Control and Prevention [Electronic source] // National Center for Health Statistics. – URL: <http://www.cdc.gov/nchs/deaths.htm>. – Дата доступа: 05.05.2021.
2. Арно, Лоре. Проектирование веб-API / Лоре Арно. – ДМК-Пресс, 2020. – 440 с.

**А. А. Буторин**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

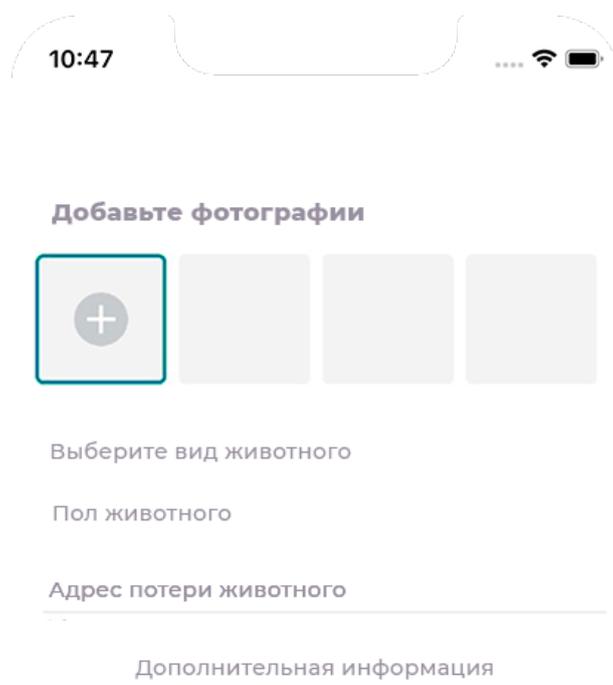
Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ «ПОИСК» ДЛЯ УСТРОЙСТВ НА ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ IOS

Владельцу, после того как питомец теряется, важно быстрее начать поиски, пока он далеко не убежал. Чаще всего люди публикуют посты в социальных сетях или расклеивают объявления в надежде,

что кто-то заметит их питомца и даст какую-либо информацию. Эта процедура занимает много времени. С помощью предлагаемого приложения можно быстро указать место, время, тип, пол, кличку, фотографию животного и т.д.

На стартовом экране присутствует tab bar, в котором можно переключаться между вкладками. При запуске приложения пользователю открывается первая страница приложения. На данной странице располагается лента объявлений о пропавших домашних животных. Объявление содержит краткую информацию о животном. На второй странице приложения располагаются объявления о поиске хозяев найденных животных. На следующей вкладке находится форма для создания объявления, на которой можно указать вид животного, его пол, адрес потери, дополнительную информацию, а также добавить изображения животного, изображенная на рисунке ниже.



10:47

Добавьте фотографии

Выберите вид животного

Пол животного

Адрес потери животного

Дополнительная информация

Рисунок 1 – Форма для создания объявления

Реализованы также вкладки, содержащие авторизацию и карту с ближайшими ветеринарными клиниками.

Приложение разработано для мобильных приложений на платформе iOS с помощью среды разработки Xcode на языке Swift.

**А. В. Быша**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА СЕРВЕРНОЙ ЧАСТИ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ ВЕТЕРИНАРНОЙ КЛИНИКИ**

Разработана серверную часть web-приложения для автоматизации работы ветеринарной клиники.

Спроектирована база данных, состоящая из 12 связанных таблиц: roles (список ролей), auth\_details (данные для авторизации клиентов), auth\_details\_role (промежуточная таблица для реализации связи многие ко многим), owners (информация о клиентах клиники), pets (информация о питомцах), pet\_types (список типов питомцев), medical\_checks (информация о медицинских обследованиях питомцев), medical\_check\_types (список медицинских обследований), visits (информация об медицинских осмотрах питомцев), vets (информация о работниках клиники), specialties (список врачебных специальностей), vet\_specialty (промежуточная таблица для реализации связи многие ко многим).

В приложение интегрирована система контроля версий баз данных Liquibase, которая позволяет отслеживать, управлять и изменять все изменения схемы базы данных.

Также реализована возможность регистрации новых пользователей или авторизация в системе, если учетная запись уже создана. Также была реализована валидация данных на стороне сервера для формы регистрации. При попытке отправить неверные данные пользователь будет переброшен обратно на форму регистрации. По завершении регистрации пользователю на адрес его электронной почты отправляется письмо об успешном завершении регистрации учетной записи.

При разработке приложения использовались следующие средства разработки: язык программирования Java, фреймворки Spring Boot, Spring Data JPA, Spring Security, база данных PostgreSQL, система контроля версий баз данных Liquibase, среды разработки IntelliJ IDEA и pgAdmin 4, web-шаблонизатор Thymeleaf, HTTP-клиент для тестирования API Postman.

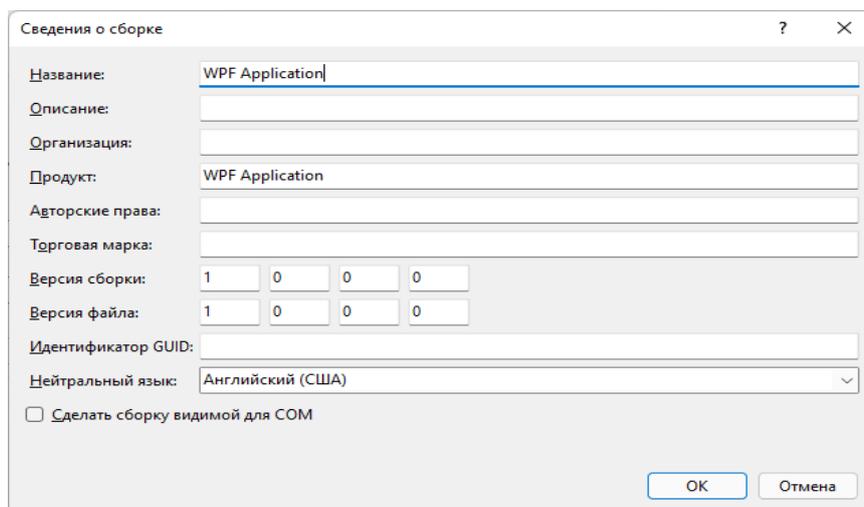
**П. И. Васильев**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)  
Науч. рук. С. А. Лукашевич, ст. преподаватель

## **ЛОКАЛИЗАЦИЯ WPF ПРИЛОЖЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ СЛОВАРЕЙ РЕСУРСОВ**

При разработке любого приложения необходимо учитывать региональные и языковые особенности пользователей. Для обеспечения комфортного использования приложения в других странах мира необходима качественная локализация. Локализация программного обеспечения – это процесс, при котором происходит адаптирование программного обеспечения к языку и культуре какой-либо страны. Другими словами, локализация – это перевод пользовательского интерфейса, документов и соответственно сопутствующих файлов с одного языка на другой. Чтобы локализовать WPF приложения сейчас существует много способов, однако трудной найти способ, который позволяет изменять язык приложения без необходимости закрытия и повторного открытия приложения.

В данной статье будет рассмотрен один из примеров локализации WPF приложения при помощи словарей ресурсов. Данный способ базируется на замене словаря ресурсов прямо по ходу выполнения программы, что позволит пользователю переключать язык приложения без необходимости перезапускать приложение.

Для начала локализации создадим новое WPF приложение и укажем нейтральную культуру для проекта (см. рисунок 1).



Сведения о сборке

Название: WPF Application

Описание:

Организация:

Продукт: WPF Application

Авторские права:

Торговая марка:

Версия сборки: 1 0 0 0

Версия файла: 1 0 0 0

Идентификатор GUID:

Нейтральный язык: Английский (США)

Сделать сборку видимой для COM

OK Отмена

Рисунок 1 – Указание нейтральной культуры для проекта

После указания нейтральной культуры необходимо создать словарь ресурсов, содержащие как оригинальные, так и локализованные строки, представленные в Таблице 1 и Таблице 2.

Таблица 1 – Оригинальные строки

```
<ResourceDictionary xmlns="http://schemas.microsoft.com/winfx/2006/xaml/presentation"
                    xmlns:x="http://schemas.microsoft.com/winfx/2006/xaml"
                    xmlns:v="clr-namespace:System;assembly=microsoft.windows.common-usercore.dll">
    <v:String x:Key="Title">WPF Localization example</v:String>
    <v:String x:Key="Measure">Measure</v:String>
    <v:String x:Key="Menu_Language">Language</v:String>
    <v:Double x:Key="Number">20.15</v:Double>
</ResourceDictionary>
```

Таблица 2 – Локализованные строки

```
<ResourceDictionary xmlns="http://schemas.microsoft.com/winfx/2006/xaml/presentation"
                    xmlns:x="http://schemas.microsoft.com/winfx/2006/xaml"
                    xmlns:v="clr-namespace:System;assembly=microsoft.windows.common-usercore.dll">
    <v:String x:Key="m_Title">Пример WPF локализации</v:String>
    <v:String x:Key="Measure">Мера</v:String>
    <v:String x:Key="m_menu_Language">Язык</v:String>
    <v:Double x:Key="m_Number">10.5</v:Double>
</ResourceDictionary>
```

Следующим шагом является написание кода для реализации логики замены одного словаря ресурсов на другой (таблица 3).

Таблица 3 – Реализация логики смены словаря ресурсов

```
public delegate void EventHandler();
public static event EventHandler LanguageChanged;
public static CultureInfo Language
{
    get
    {
        return System.Threading.Thread.CurrentThread.CurrentUICulture;
    }
    set
    {
        if (value == null) throw new ArgumentNullException("value");
        if (value == System.Threading.Thread.CurrentThread.CurrentUICulture)
            return;
        System.Threading.Thread.CurrentThread.CurrentUICulture = value;
        switch (value.Name)
        {
            case "ru-RU":
                ResourceDictionary Russian = Application.LoadComponent(new
                Uri("/ResourcesLibrary;component/Resources/Languages/lang.ru-RU.xaml",
                UriKind.Relative)) as ResourceDictionary;
                Application.Current.Resources.Clear();
                Application.Current.Resources.MergedDictionaries.Add(Russian);
                break;
            default:

```

### Окончание таблицы 3

```
ResourceDictionary English = Application.LoadComponent(new
Uri("/ResourcesLibrary;component/Resources/Languages/lang.xaml", UriKind.Relative))
as ResourceDictionary;
Application.Current.Resources.Clear();
Application.Current.Resources.MergedDictionaries.Add(English);
break;
}
LanguageChanged?.Invoke();
}
```

Таким образом, при использовании словарей ресурсов для локализации приложения можно просто и быстро добавлять новые локализации и изменять уже имеющиеся, а смена языка пользовательского интерфейса больше не требует перезагрузки приложения.

**В. С. Вишневецкая**

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **И. Л. Стефановский**, ст. преподаватель

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ АДМИНИСТРАТОРА В КАФЕ ДЛЯ ООО «САССИН СКВЭР»**

Такие процессы, как планирование персонала, создание предложений, управление площадками и отслеживание инвентаря, могут занять большую часть дня администратора. Когда дело доходит до выполнения этих процессов вручную, они теряют фокус на том, что важно: клиент и развитие бизнеса. Когда есть программное обеспечение или другой технологический процесс автоматизации, такие вещи, как быстрый ввод данных и динамическая переписка по электронной почте, становятся новой нормой.

Разрабатываемое приложение позволяет вести учет и статистику работы персонала, учет финансовых расходов, создание и изменение меню, разграничение прав доступа. В качестве результатов будут выводиться графики финансовых расходов, отчеты по работе персонала.

Основные функции программного обеспечения автоматизации рабочего места администратора кафе:

- вход в программное обеспечение под своим именем и паролем;
- выбор нужного раздела;
- просмотр информации о сотрудниках, меню;

- добавление и удаление информации;
- вывод результатов по работе персонала;
- учёт и статистика работы персонала.
- прием заказов клиентов с указанием зала, стола и количества гостей (бронирование столиков);

Реализация функции «бронирование столиков» предусматривает:

- данные обо всех столиках и количестве мест за ними;
- возможность выбора столика для бронирования с указанием даты и времени прихода гостей;
- возможность внесения пожеланий и предпочтений клиента (например, бронирование 4-х местного столика на пятерых, то есть, чтобы был принесен дополнительный стул, сервировка на пять человек, заказ определенного блюда на число гостей (чтобы были заготовлены необходимые продукты) и т.д.).

Администратор, вошедший в систему, может просмотреть информацию о сотрудниках, столах, заказах, поставщиках, продуктах; редактировать информацию; просматривать статистику и учёт работы персонала; вести отчётность по работе персонала и по расходам.

Работа с данными будет осуществляться через *web*-интерфейс: с использованием браузера, загружающего необходимые данные с *web*-сервера.

Для авторизации на сайте нужно ввести имя и пароль администратора и нажать на кнопку «выполнить вход». После удачной авторизации загружается стартовая страница Администратора. На странице отображаются следующие пункты: столики, бронирование, график выручки, выход.

**А. Б. Вологовский**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **К. С. Бабич**, ст. преподаватель

## **МОНАДА ДИСКРЕТНОЙ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ**

*Монады* – часто применяемая в функциональном программировании абстракция для приведения разнородных вычислений с *эффектами* к общему виду (см. рисунок 1) [1].

Любая монада должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Наличие полиморфного контейнера вида

$$m\ a. \tag{1}$$

# Псевдокод №1 $x \leftarrow action_1$ <b>if success</b> $y \leftarrow action_2$ <b>if success</b> <b>return</b> $x + y$	# Псевдокод №2 $xs \leftarrow action_1$ <b>for</b> $x$ <b>in</b> $xs$ $ys \leftarrow action_2$ <b>for</b> $y$ <b>in</b> $ys$ <b>yield</b> $x + y$	# Монадическое # обобщение, # упростившее код $x \leftarrow action_1$ $y \leftarrow action_2$ <b>return</b> $x + y$
---	--	--

Рисунок 1 – Пример монадического обобщения вычислений

## 2. Наличие полиморфной функции вида

$$\varphi : (f : a \rightarrow b) \rightarrow m a \rightarrow m b, \quad (2)$$

поднимающей функцию  $f$  на уровень контейнера.

## 3. Наличие полиморфной функции вида

$$\eta : a \rightarrow m a, \quad (3)$$

оборачивающей произвольное значение в контейнер.

## 4. Наличие полиморфной функции вида

$$\mu : m (m a) \rightarrow m a, \quad (4)$$

схлопывающей вложенный контейнер.

Монадические вычисления, представленные на рисунке 1 переводятся в математические выражения согласно таблице 1.

Таблица 1 – Правила трансляции монадических вычислений

$x \leftarrow X$ $f x$	$\mu (\varphi f X)$
<b>return</b> $x$	$\eta x$

Реализуем монаду для работы с дискретными случайными величинами.

### 1. Контейнером (1) будет таблица распределения:

$$m a = \{(a, P a)\}. \quad (5)$$

### 2. Функцией (2) будет применение функции $f$ к значениям таблицы:

$$\varphi f X = \{(f x, p) \mid (x, p) \in X\}. \quad (6)$$

3. Функцией (3) будет создание таблицы с одним значением:

$$\eta x = \{(x, 1)\}. \quad (7)$$

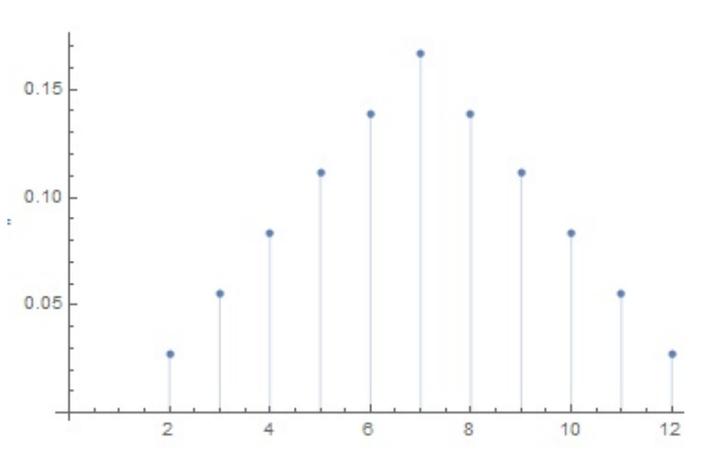
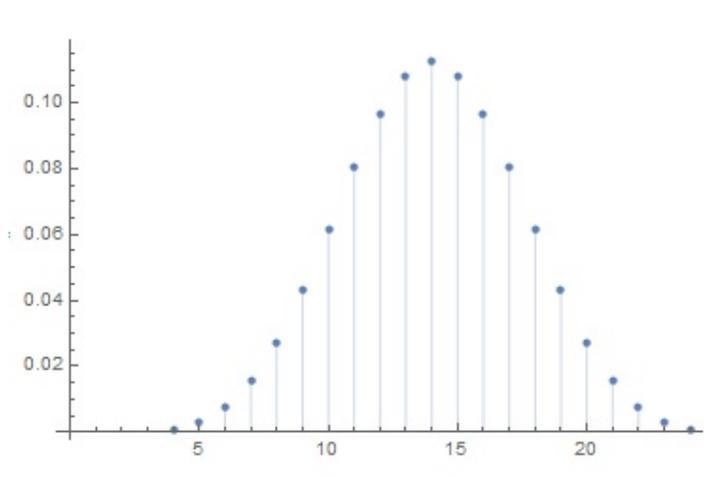
4. Функцией (4) будет объединение нескольких таблиц в одну с последующим перемножением соответствующих вероятностей, а также сложением вероятностей одинаковых значений:

$$\mu X = n \{(x, p \cdot p') \mid (X', p') \in X, (x, p) \in X'\}, \quad (8)$$

где  $n$  – функция, складывающая вероятности одинаковых значений.

В таблице 2 представлено использование формул (5–8) в среде Wolfram Mathematica.

Таблица 2 – Использование формул (5–8) в среде Wolfram Mathematica на примере полигона чистот сумм чисел, получающихся при бросании игральной кости

<pre> <i>x</i><sub>1</sub> ← <i>dice</i> <i>x</i><sub>2</sub> ← <i>dice</i> <b>return</b> <i>x</i><sub>1</sub> + <i>x</i><sub>2</sub> </pre>	
<pre> <i>x</i><sub>1</sub> ← <i>dice</i> <i>x</i><sub>2</sub> ← <i>dice</i> <i>x</i><sub>3</sub> ← <i>dice</i> <i>x</i><sub>4</sub> ← <i>dice</i> <b>return</b> <i>x</i><sub>1</sub> + <i>x</i><sub>2</sub> + <i>x</i><sub>3</sub> + <i>x</i><sub>4</sub> </pre>	

## Литература

1. Волотовский, А. Б. Трансформеры монад на Haskell / А. Б. Волотовский // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях. – 2021. – С. 333–334.

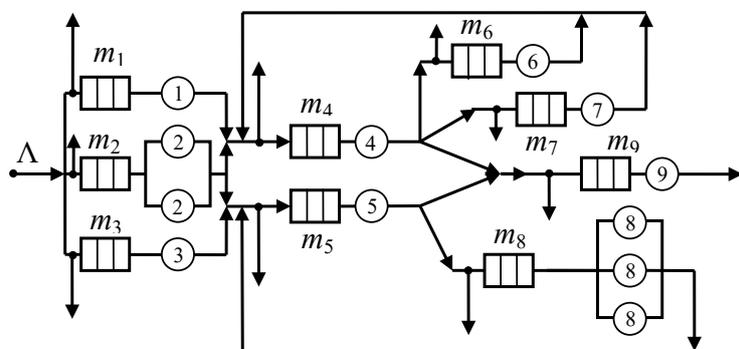
Ю. Г. Галич

(ОмГУПС, Омск)

Науч. рук. В. Н. Задорожный, д-р техн. наук, доцент

### МИНИМИЗАЦИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ПОТЕРЬ В НЕМАРКОВСКИХ СЕТЯХ С ОЧЕРЕДЯМИ ПУТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМОВ БУФЕРОВ

Продолжая исследование методов оптимизации однородных немарковских сетей с ограниченными размерами буферов [1] рассмотрим пример сети с очередями, изображенной на рисунке 1 (заимствованном из [2]), с системами вида  $G/G/K/m$ .



$$p_{0,1} = 0,2, p_{0,2} = 0,3, p_{0,3} = 0,5, p_{2,4} = 0,7, p_{2,5} = 0,3, \\ p_{4,6} = 0,3, p_{4,7} = 0,4, p_{4,9} = 0,3, p_{5,8} = 0,9, p_{5,9} = 0,1$$

Рисунок 1 – Тестовая сеть массового обслуживания

Входящий в сеть поток заявок пуассоновский, его интенсивность  $\Lambda = 1$ . В любом из  $K_i$  каналов  $i$ -го узла время обслуживания заявки – независимая случайная величина с функцией распределения  $B_i(t)$  и интенсивностями обслуживания  $\mu_i$  (см. таблицу 1, в которой  $R$  обозначает равномерное,  $E^2$  – эрланговское второго порядка,  $M$  – экспоненциальное распределения). Переходные вероятности  $p_{ij}$  указаны на рисунке 1. Размер  $m_i$  каждого буфера ограничен и если в момент по-

ступления заявки в буфер  $i$ -го узла буфер заполнен, то заявка теряется. Вероятность  $P_{\text{loss}}$  потерь – это доля теряемых заявок в числе всех заявок, поступающих на вход сети. Решаемая задача может быть записана в виде

$$P_{\text{loss}}(\vec{m}) \rightarrow \min_{\vec{m}}, \quad (1)$$

где  $\vec{m} = (m_1, \dots, m_9)$  – распределение объемов буферов, при ограничении

$$m_1 + \dots + m_9 = M_{\Sigma} = \text{const}. \quad (2)$$

Поскольку точного метода решения подобных задач нет, приходится применять имитационное моделирование (ИМ). При этом в силу ряда недостатков ИМ [3] актуальной становится задача разработки ускоренных аналитико-имитационных методов решения задач типа задачи (1), (2). Одним из способов ускоренного решения оптимизационных задач при использовании ИМ является построение подходящей аналитической аппроксимации целевой функции, ее минимизация аналитическими или численными методами и последующая проверка получаемого приближенного решения путем ИМ [2, 3]. Получаемое решение можно уточнять путем построения новой аппроксимации целевой функции в окрестности найденной приближенно-оптимальной точки факторного пространства, вычисления нового решения, и т.д.

Для задачи (1), (2) предлагается следующая сепарабельная аппроксимация  $P_{\text{loss}}^{\text{ap}}(\vec{m})$  целевой функции  $P_{\text{loss}}(\vec{m})$ :

$$P_{\text{loss}}^{\text{ap}}(\vec{m}) = \frac{\sum_{i=1}^9 \lambda_{\text{loss } i}(m_i)}{\Lambda} = \frac{\sum_{i=1}^9 a_i e^{-b_i m_i}}{\Lambda}, \quad (3)$$

где  $\lambda_{\text{loss } i}(m_i) = a_i e^{-b_i m_i}$  – зависимость интенсивности потерь в  $i$ -м узле от объема  $m_i$  буфера в нем. После двух прогонов модели с разными объемами буфера  $m_{i1}$  и  $m_{i2}$  в узлах  $i$  вычисляются значения  $a_i$  и  $b_i$ :

$$b_i = -\frac{\ln(\lambda'_i) - \ln(\lambda''_i)}{m_{i1} - m_{i2}}, \quad a_i = \lambda'_i e^{b_i m_{i1}} = \lambda''_i e^{b_i m_{i2}}, \quad i = \overline{1,9},$$

где  $\lambda'_i, \lambda''_i$  – интенсивности потерь в узле  $i$  в первом и втором прогонах модели соответственно.

Длина прогонов определяется далее прохождением через сеть  $10^7$  заявок. Пусть суммарный объем буферов  $M_\Sigma = 50$ . За два прогона модели тестовой сети при различных векторах  $\vec{m}_1 = (5, 3, 7, 4, 6, 8, 3, 5, 9)$  и  $\vec{m}_2 = (7, 4, 4, 9, 8, 5, 7, 2, 4)$  определяем коэффициенты  $a_i$  и  $b_i$ . Заметим, что имитационная оценка  $P_{\text{loss ИМ}}$  вероятности  $P_{\text{loss}}$  в первом случае составила 0,086, а во втором 0,051. Решаем аппроксимирующую задачу  $P_{\text{loss}}^{ap}(\vec{m}) \rightarrow \min$  численным методом, например, с помощью сервиса «поиск решения» в Ms Excel. Получаемые дробные значения  $m_{\text{opt } i}$  округляем до ближайшего целого. Результат такой оптимизации представлен в таблице 1. При указанных значениях  $m_{\text{opt } i}$  вероятность потерь  $P_{\text{loss min}} \approx 0,030$ . Уточненная имитационная оценка вероятности потерь при  $m_i = m_{\text{opt } i}$  составила 0,039.

Таблица 1 – Характеристики тестовой сети и результат ее оптимизации

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$K_i$	1	2	1	1	1	1	1	3	1
$B_i(t)$	$R$	$R$	$R$	$M$	$M$	$E^2$	$E^2$	$E^2$	$M$
$\mu_i$	0,3	0,3	0,8	1,8	7,25	0,8	0,8	5,5	2,25
$\alpha_i$	0,2	0,3	0,5	1,367	5,9	0,41	0,547	5,31	1
$a_i$	0,05617	0,07325	0,1446	0,11535	0,71386	4,13945	0,03929	2,28595	0,69879
$b_i$	0,6238	1,02221	0,71233	0,31367	0,50174	1,66863	0,41482	2,66679	1,16576
$m_{\text{opt } i}$	4	4	5	9	10	5	5	3	5
$\lambda_{\text{loss } i}$	0,00466	0,00126	0,00416	0,00512	0,01025	0,00086	0,00606	0,00352	0,00293

При значительном изменении  $M_\Sigma$  значения  $a_i, b_i$  следует определять заново при небольших отклонениях распределения объема  $M_\Sigma$  от равномерного. Так, при  $M_\Sigma = 90$  получаем с помощью данных в таблице 1 значений  $a_i, b_i$  решение  $\vec{m}_{\text{opt}} = (9, 6, 10, 18, 16, 7, 12, 4, 8)$ , доставляющее  $P_{\text{loss min}} = 0,0015$ . Но имитационная проверка дает значение  $P_{\text{loss ИМ}} = 0,0064$ . Рассчитывая же *новые* значения  $a_i, b_i$  в окрестности равномерного распределения объема  $M_\Sigma = 90$  по узлам сети получаем решение аппроксимирующей задачи  $\vec{m}_{\text{opt}} = (8, 6, 8, 17, 22, 7, 10, 4, 8)$ , доставляющее расчетное  $P_{\text{loss min}} = 0,0037$ . При этом

$P_{\text{loss ИМ}} = 0,0051$ . При равномерном распределении  $M_{\Sigma} = 90$  получаем  $P_{\text{loss ИМ}} = 0,0202$ .

Рост  $M_{\Sigma}$  с 50 до 90 привел к снижению  $P_{\text{loss min}}$  почти на порядок.

## Литература

1. Галич, Ю. Г. Исследование метода «направляющих гипербол» для оптимизации однородных немарковских сетей с ограниченными размерами буферов / Ю. Г. Галич // X Всерос. науч.-практ. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2021) : Труды конференции, Санкт-Петербург, 20–22 окт. 2021 г., 2021. – С. 553–559.

2. Задорожный, В. Н. Распределение каналов в однородных немарковских сетях с очередями / В. Н. Задорожный // Омский научный вестник, 2010. – № 1(87). – С. 5–10.

3. Задорожный, В. Н. Методы снижения вероятности потерь в системах с бесконечной дисперсией времени обслуживания / В. Н. Задорожный, Т. Р. Захаренкова // Системы управления, информационные технологии и математическое моделирование: материалы I Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Омск: ОмГТУ, 2019. – С. 7–26.

**Н. А. Галух**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **С. А. Лукашевич**, ст. преподаватель

## FRONTEND РАЗРАБОТКА WEB-СТРАНИЦ

В настоящее время разработка интернет-страниц стала самой развитой средой для коммуникации, средством рекламы и продвижения. Интернет, на данный момент, удовлетворяет огромному количеству потребностей человека. К таким потребностям можно отнести: покупки, увеличение клиентской базы, чтение, поиск информации. Для всего этого в сети Интернет используется такая отрасль программирования, как web-программирование [1].

Web-программирование – раздел, занимающийся разработкой web-приложений. Специалистов, занимающихся в этой области программирования можно разделить на две группы, по их предмету работы: Фронтенд-разработчики и Бэкенд-разработчики.

Бэкенд-разработчики оперируют более обширным арсеналом языков программирования. Это могут быть такие языки как: PHP, Ruby, Python или Node.js. Для бэкенд-разработки нужны системы управления базами данных: MySQL, PostgreSQL, SQLite или MongoDB.

Но всё же в большей степени хотелось бы затронуть такую часть web-разработки, как фронтенд разработку.

Фронтенд занимается «лицом» сайта. Здесь работа ведётся над тем, с чем посетитель сайта может взаимодействовать на странице, дизайном, визуальными элементами. Задачей фронтенд-разработчика является создание такого сайта, который будет удовлетворять задачам и желаниям владельца сайта, корректно работать во всех браузерах и на всех устройствах. Плюсом данной области разработки является то, что разработчик может наблюдать результат работы. Главными инструментами разработчиков являются: HTML, CSS и JavaScript.

HTML – это стандартизированный язык, который не привязывается к архитектуре и ОС. Это позволяет создавать и просматривать документ на любом устройстве с любой ОС и документ будет показан одинаково в любом браузере. Так же язык является языком разметки, он исполняет набор команд, который управляет браузером при отображении web-страниц. Внешний вид web-страницы определяет набор специальных элементов, которые интерпретируется браузером. Такие элементы называются тегами.

CSS – это язык описания внешнего вида web-страницы, написанной с использованием языка разметки HTML. Данный язык используется для задания шрифтов, стилей, цветов, а также для адаптации сайта под другие устройства и браузеры. Главной целью языка CSS является отделение логической структуры сайта от описания внешней части. Данное разделение позволяет расширить возможности документа.

JavaScript язык программирования, позволяющий создавать динамически обновляемый контент, управлять мультимедиа, анимировать изображения.

## Литература

1. Duckett, J. HTML and CSS: Design and Build Websites / J. Duckett // John Wiley & Sons. 2013. – 480 с.

**И. И. Гоголев, В. А. Никитюк, Д. В. Барановский**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Ю. В. Никитюк**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **3D–МОДЕЛИ В ИГРОВОЙ ИНДУСТРИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ BLENDER И UNITY**

Игры занимают особое место в жизни людей. На каждом этапе развития человека игры имеют свой смысл. Для детей игры – это, в первую очередь, способ обучения, а для взрослых игры важны как источник эмоций. Видеоигры имеют особое значение, являясь неотъемлемой частью современной жизни, а спрос на новые эмоции обуславливает всё больше предложений на рынке видеоигр. При этом развитие компьютерных технологий обуславливает требовательность игроков, особенно к графической составляющей игры. В настоящее время востребованы новые образы для видеоигр, а востребованность специалистов в этой области продолжает расти [1–3].

Для создания компьютерной графики в настоящее время применяются различные программы создания и детализации объектов и моделей. При этом сравнительный анализ функционала программных продуктов в области 3D-моделирования показывает, что одним из самых удобных и практичных является программный продукт Blender (см. рисунок 1), а сравнительный анализ основных показателей игровых движков позволяет сделать вывод о целесообразности использования среды моделирования Unity (см. рисунок 2) [4–7].

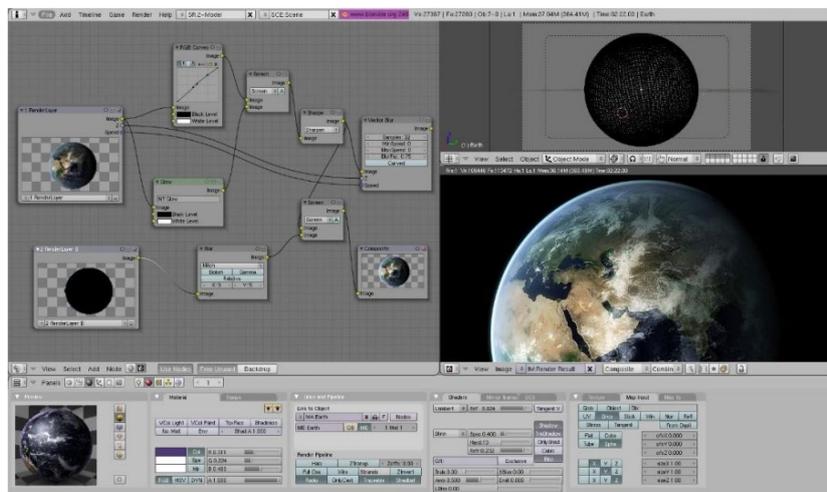


Рисунок 1 – Интерфейс Blender

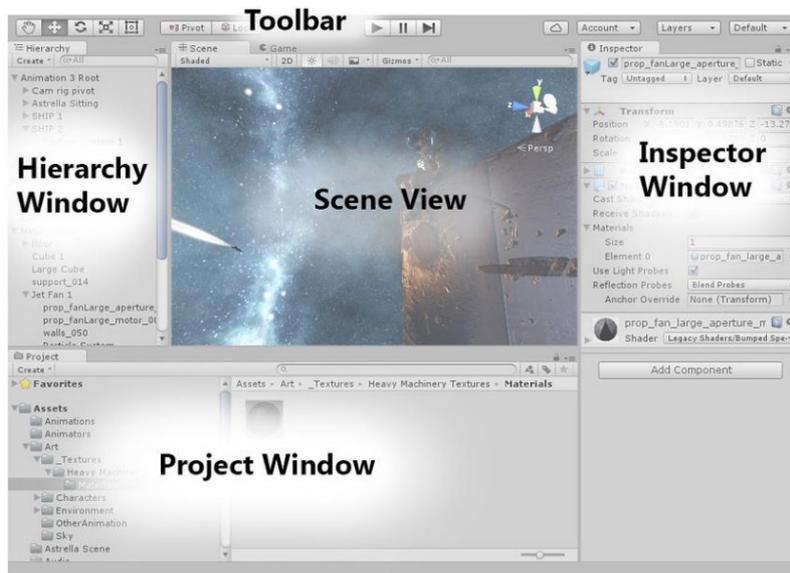


Рисунок 2 – Интерфейс Unity

К достоинствам программного продукта Blender следует отнести небольшой размер программы, свободный доступ, кроссплатформенность. К достоинствам игрового движка Unity относятся простой интерфейс, поддержка большинства форматов импорта, большой выбор активов в Unity Asset Store [4].

Для демонстраций возможностей работы с ассетами в Blender, был использован онлайн ресурс Sketchfab [8], при этом была использована ранее созданная модель, которая представляет собой футуристиче- ский танк (см. рисунок 3).

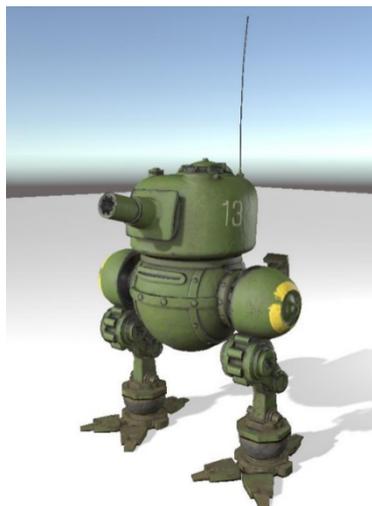


Рисунок 3 – Готовая модель в игровом движке

Использование комбинации программных продуктов Blender и Unity обеспечивает возможность эффективного решения задач, возникающих при создании новых продуктов в индустрии компьютерной графики, что совпадает с выводами работы [4].

## Литература

1. Журавлева, М. С. 3D-модель игрового анимационного персонажа: выпускная квалификационная работа / М. С. Журавлева // Рос. гос. проф.-пед. ун-т, Ин-т инж.-пед. образования, Каф. информ. систем и технологий. – Екатеринбург, 2018. – 69 с.

2. Никитиных, Е. И. Разработка 3D-моделей и анимации для игровой индустрии. / Е. И. Никитиных, Г. А. Конурина // Сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. – Москва, 2021. – С. 173–176.

3. Кривчук, М. А. Применение 3D-моделирования в современной индустрии / М. А. Кривчук // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 43. – С. 1098–1100.

4. Бутов, Д. В. Анализ современного состояния и тенденции развития игровых движков и 3D-редакторов / Д. В. Бутов, О. В. Ченгарь // Мир компьютерных технологий : сборник статей Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Севастополь, 02–05 апреля 2019 года ; науч. ред. Е. Н. Мащенко. – 2019. – С. 219–223.

5. Blender [Электронный ресурс] // The Free and Open Source 3D Creation Suite. – URL: <https://www.blender.org/>. – Дата доступа: 27.03.2022 г.

6. Blender foundation [Электронный ресурс] // Свободная энциклопедия Wikipedia. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Blender>. – Дата доступа: 29.01.2022.

7. Unity [Электронный ресурс] // Официальный сайт Unity Technologies. – URL: <https://unity.com/ru>. – Дата доступа: 27.03.2022 г.

8. Sketchfab [Электронный ресурс] // Официальный сайт Sketchfab, Inc. – URL: <https://sketchfab.com>. – Дата доступа: 27.03.2022 г

**К. С. Голубич**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)  
Науч. рук. **Н. А. Аксенова**, ст. преподаватель

## АКТУАЛЬНОСТЬ СВЁРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

В наши дни нейронные сети имеют широкий спектр применения в разрешении разного спектра задач в повседневной жизни. Такие задачи, как распознавание речи, объектов на изображениях и символов, теперь разрешаются с использованием высокоточных нейронных сетей. В данном случае рассмотрим свёрточную нейронную сеть, а также её структуру и плюсы.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих повышение эффективности распознавания эмоций, а также обеспечение достаточного быстродействия и в ограниченных рамках по использованию ресурсов для возможности работы на любых устройствах.

Объяснить алгоритм работы свёрточной нейронной сети можно как переходы от конкретных особенностей изображения к более абстрактным особенностям, но при этом и более многочисленным, а после и ещё к более абстрактным, и ещё более многочисленным. В работе данной модели определены две основные операции, а именно операция свёртки и операция субдискретизации, этот процесс представлен на рисунке 1.

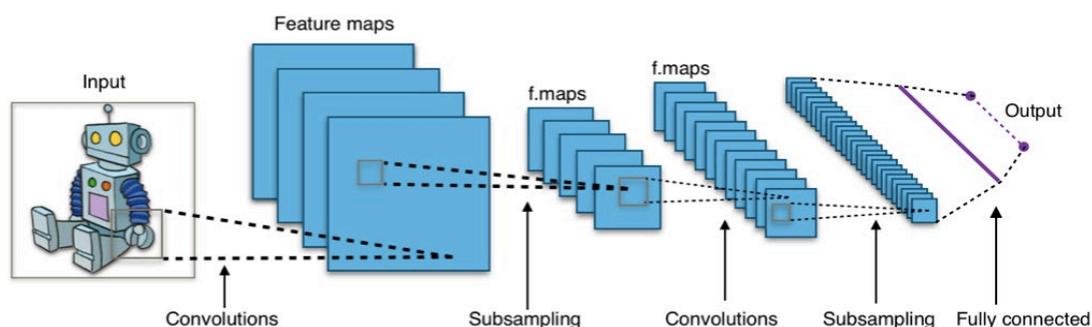


Рисунок 1 – Схема работы свёрточной нейронной сети

Операция субдискретизации, также операция подвыборки, используется для уменьшения размерности созданных карт признаков. В данной архитектуре считается, что наличие признака важнее его местонахождения, поэтому из нескольких соседних нейронов карты обычно выбирается максимальный или средний. За счёт этой опера-

ции увеличивается скорость самого алгоритма, схема этого процесса представлена на рисунке 2.

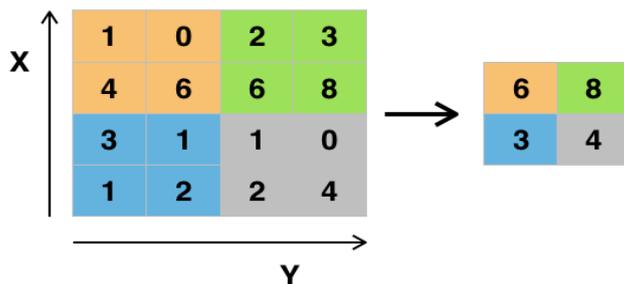


Рисунок 2 – Схема работы операции субдискретизации

Операция свёртки представляет собой проход ядер свёртки, точнее небольших матриц весов небольшого размера, по слою, что в итоге генерирует так называемые карты признаков. Каждый фрагмент из карты признаков показывает наличие какого-либо признака, который был закодирован в своё ядро свёртки, схема этого процесса представлена на рисунке 3.

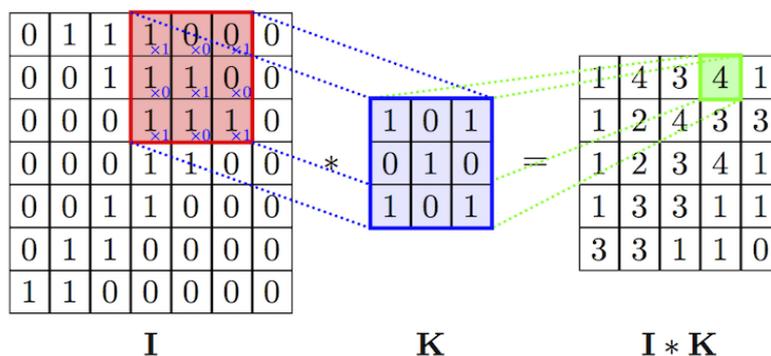


Рисунок 3 – Схема работы операции субдискретизации

К плюсам данной модели глубокого обучения можно отнести:

1 Повышенную скорость обучения данной модели в отличии от обычной нейронной сети и уменьшение количества обучаемых.

2 Есть возможность использования многопоточных вычислений и возможность использования графических процессоров для реализации рассматриваемого алгоритма.

3 Данная модель имеет хорошую устойчивость к сдвигам искомым объектов во входных данных, так как свёрточная нейронная сеть при обучении сдвигается по исходным данным и поиск признаков происходит по каждому полученному снимку.

**П. А. Гомонов**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ «ТРЕЙДИНГОВАЯ ПЛАТФОРМА»**

Для web-приложения трейдинговая платформа была выбрана объектно-реляционная СУБД PostgreSQL, т.к. существует необходимость в хранении большого количества данных и быстрый доступ к ним, а также за счёт большого количества связей между таблицами. В случае с PostgreSQL, в дальнейшем, можно легко расширить возможности приложения, что существенно снижает затраты на дальнейшее обслуживание приложения. Разработанная база данных состоит из 8 связанных таблиц (рисунок 1).

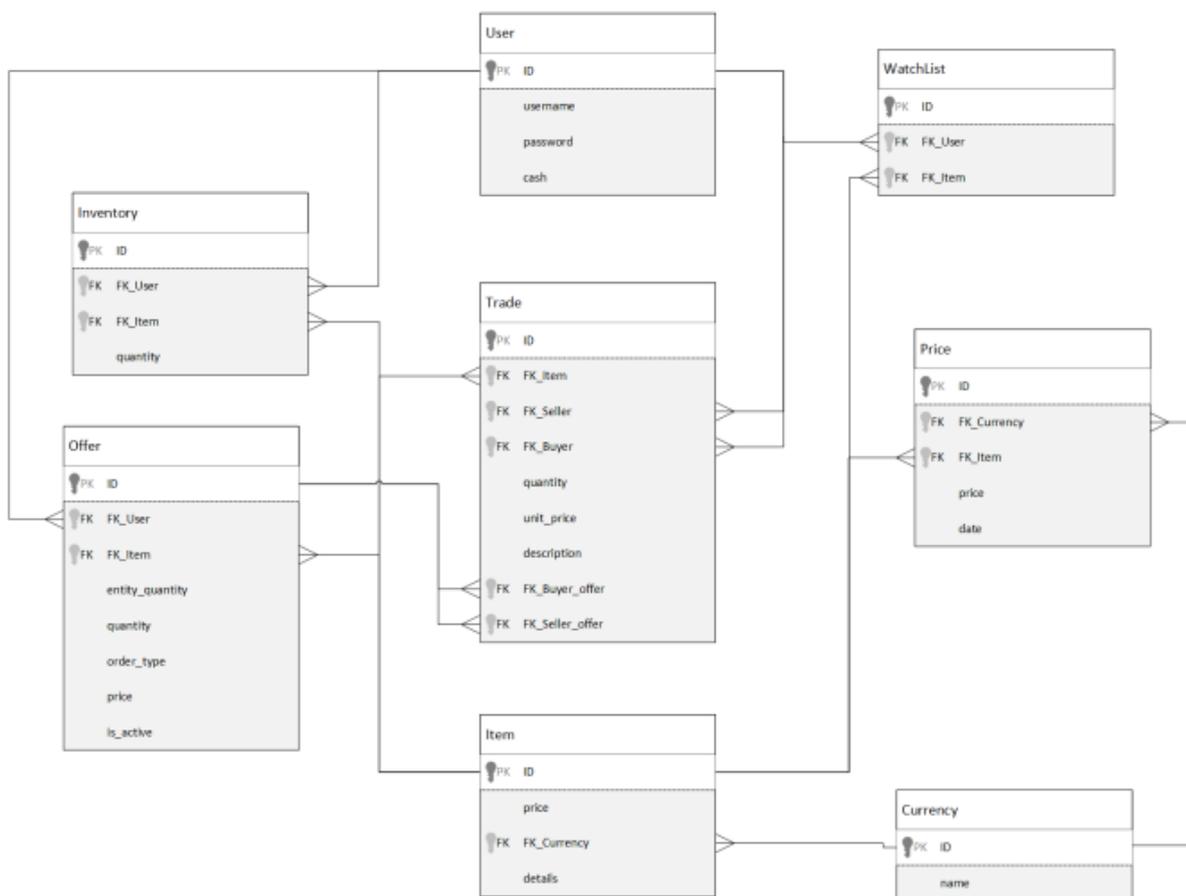


Рисунок 1 – Схема базы данных

Связь с базой данных осуществляется через ORM.

Для каждого пользователя существует запись в таблице user, для каждого пользователя в таблице inventory существует свой инвентарь, который содержит все предметы из таблицы item с указанием количества. Таблица Offer содержит все предложения о покупках или продажах, в каждой записи содержится предмет обмена, пользователь, который создал предложение, цена. В таблице Trade содержатся записи о совершении сделок, в которых указываются пользователи, которые купили и продали предметы при обмене; сам предмет, а также предложения, из которых были взяты предметы для обмена.

В результате, приложение может обрабатывать все запросы на продажу или покупку предметов, обрабатывать данные для совершения сделок, отображать данные для пользователей.

Приложение разработано с использованием Django в среде PyCharm.

**Д. А. Горицкая**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Дей**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «СТУДЕНЧЕСКИЕ КОНФЕРЕНЦИИ ФАКУЛЬТЕТА ФИЗИКИ И ИТ»**

В настоящее время большую роль в деятельности высших учебных заведений играет регулярное проведение научных конференций и семинаров. Основная цель проведения подобных научных мероприятий – это развитие и поддержка научных и технических исследований как основы образования. Масштабы таких конференций могут достигать как межвузовских, так и региональных уровней.

Для удобства организации каких-либо научных мероприятий необходима информационная система, в которой возможно вести учет подобных конференций, докладов, а также участников и научных руководителей.

При разработке информационной системы была спроектирована соответствующая база данных в среде Microsoft SQL Server, а также создано Windows приложение на основе языка программирования C# [1, 2].

Разработанная программа содержит следующие разделы:

- Конференции. В данном разделе для администратора возможны функции добавления, изменения и удаления конференции. Обычный же пользователь может лишь читать информацию;
- Доклады. Эта вкладка содержит доклады и всю информацию о них. Также предусмотрена функция редактирования данной таблицы администратором;
- Участники. Здесь ведется учет всех участников и научных руководителей конференции;
- Поиск. На данной странице можно произвести поиск докладов по ключевому слову по теме доклада, по автору и по научному руководителю;
- Пользователи. Просматривать этот раздел имеет право только администратор приложения, так как здесь содержатся логины и пароли всех пользователей приложения.

Схема спроектированной базы данных показана на рисунке 1.

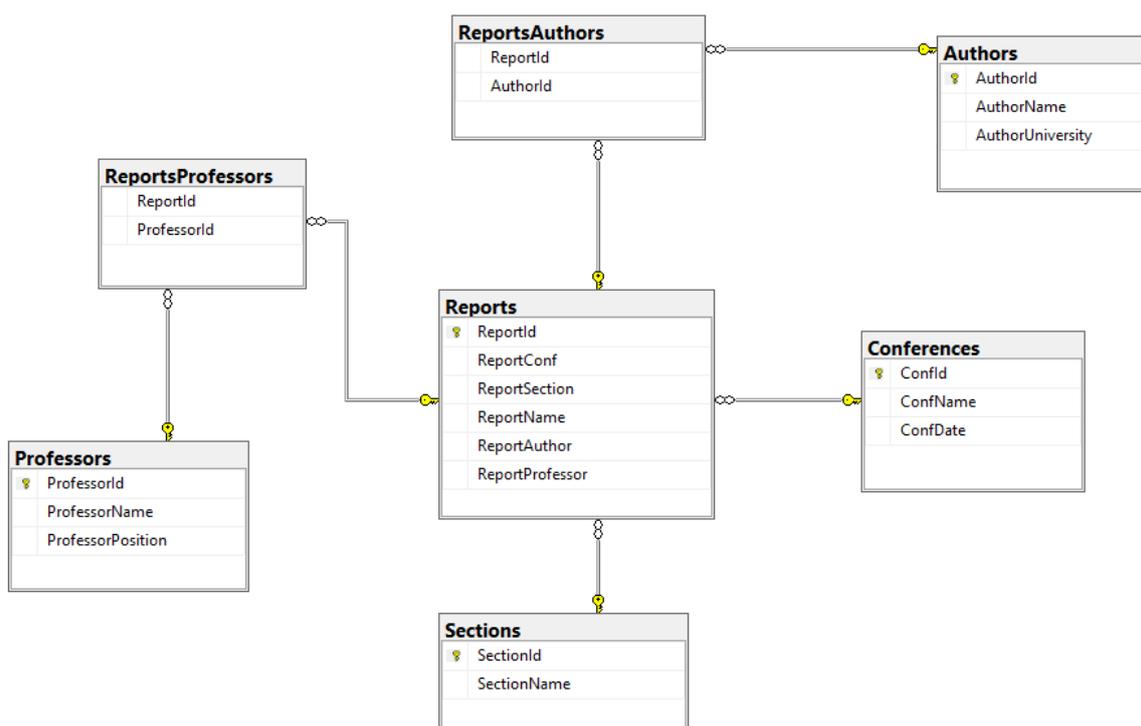


Рисунок 1 – Диаграмма связей базы данных ConfDB

При запуске программы начальным разделом является страница «Конференции». Ее вид изображен на рисунке 2.

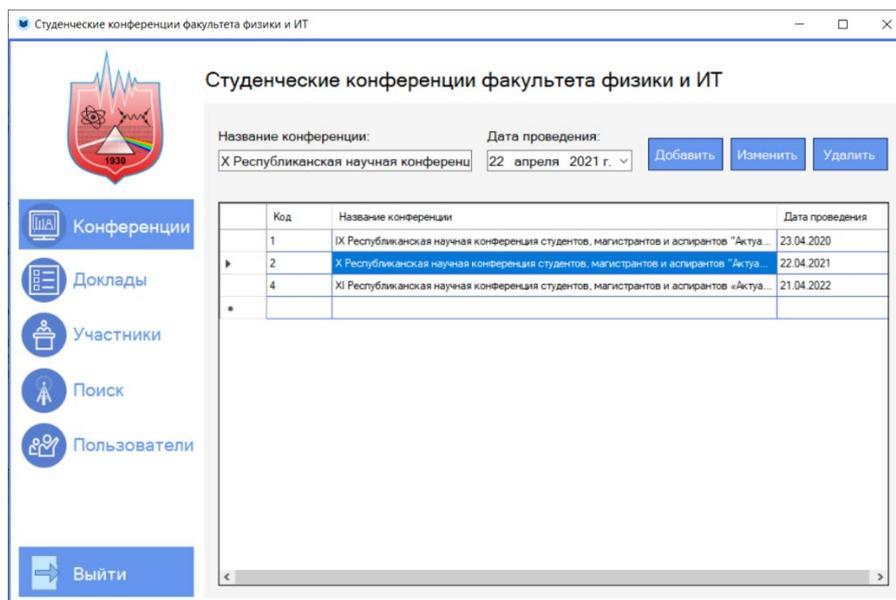


Рисунок 2 – Вид страницы «Конференции»

В окне «Доклады» (рисунок 3) отображается список докладов с указанием порядкового номера, конференции, секции, авторов и научных руководителей.

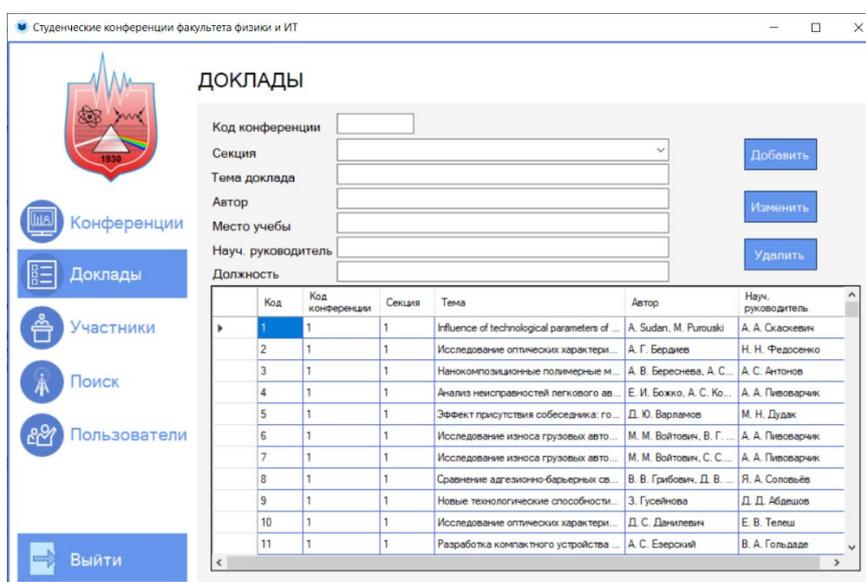


Рисунок 3 – Вид страницы «Доклады»

Все формы программы содержат в стандартные компоненты для организации диалога:

- компоненты textBox, предназначенные для ввода и вывода необходимых данных;

- компоненты button (кнопки), при нажатии на которые происходят заранее запрограммированные действия;
- компонент dataGridView, используемый для вывода данных из указанного источника (таблицы из базы данных).

Содержимое базы данных состоит из конференций за 2020 и 2021 года в ГГУ имени Ф. Скорины. В общей сумме таблица «Reports» содержит более 600 записей.

В последующем будет добавлен вход и регистрация пользователей, так как программа рассчитана на многопользовательский режим. Таким образом, после запуска программы будет появляться окно для ввода логина и пароля, или же окно для регистрации в случае первого использования данной информационной системы. Также будет добавлена возможность сохранения результатов поиска в файл.

## Литература

1. Фиайли, К. SQL / К. Фиайли ; пер. с англ. – М. : ДМК Пресс., 2013. – 456 с.
2. Кригель, А. SQL. Библия пользователя / А. Кригель, Б. Трухнов // 2-е издание : пер. с англ. – М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2010. – 752 с.

**Е. В. Гошко**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. А. Дробышевский**, ст. преподаватель

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ В ГЕТЕРОГЕННОЙ СРЕДЕ

Основной инструмент, который будет представлять собой гетерогенность – это Jenkins. Jenkins является свободным продуктом, написанным на Java. Может быть развернут на всех основных ОС. Дженкинс представляет своего рода интерфейс для организации взаимодействия с программным кодом, его сборкой и дальнейшей разверткой в той или иной среде. Установка Jenkins на Убунту представлена следующим образом [1].

Для установки на Ubuntu, необходимо добавить репозиторий apt для Jenkins следующим образом:

```
echo deb [signed-by=/usr/share/keyrings/jenkins-keyring.asc] \  
https://pkg.jenkins.io/debian-stable binary/ | sudo tee \  
/etc/apt/sources.list.d/jenkins.list > /dev/null
```

Далее, обновляем пакеты через `sudo apt-get update` далее завершаем установку: `sudo apt-get install fontconfig openjdk-11-jre`  
`sudo apt-get install jenkins`

По умолчанию, сервис будет доступен по порту 8080. В поисковой строке браузера вводим доменное имя или IP устройства, указывая, что используем мы порт 8080. При первой установке у нас должно появиться окно подтверждения ключа, (рисунок 1) введя который мы можем начать работу с Jenkins.

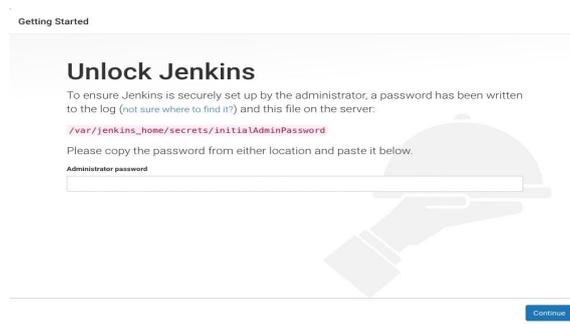


Рисунок 1 – Начало работы с Jenkins

## Литература

1 Jenkins [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.jenkins.io> – Дата доступа: 08.03.2022.

**Е. В. Гошко**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. А. Дробышевский**, ст. преподаватель

## УПРАВЛЕНИЕ СРЕДАМИ РЕАЛИЗАЦИЙ ПЛАГИНОВ JENKINS

Плагины являются основным средством расширения функциональности среды Jenkins в соответствии с потребностями организации или конкретного пользователя. Существует более тысячи различных плагинов, которые можно установить на контроллер Jenkins и интегрировать различные инструменты сборки, облачных провайдеров, инструменты анализа и многое другое.

Плагины могут быть автоматически загружены вместе с их зависимостями из Центра обновления. Центр обновлений – это сервис, управляемый проектом Дженкинса, который предоставляет

перечень плагинов с открытым исходным кодом, разработанных и поддерживаемых различными членами сообщества Дженкинса [1].

В разделе плагинов рассматривается и производится работа со всем, начиная с основ управления плагинами в веб-интерфейсе Jenkins и заканчивая внесением изменений в файловую систему контроллера.

Администраторы также могут использовать Jenkins CLI, который предоставляет команду для установки плагинов. Скриптам для управления средами Дженкинса или коду управления конфигурацией может потребоваться установка плагинов без прямого взаимодействия с пользователем в веб-интерфейсе. Интерфейс Jenkins CLI позволяет пользователю командной строки или инструменту автоматизации загружать плагин и его зависимости.

Центр обновлений разрешает установку только самой последней выпущенной версии плагина. В тех случаях, когда требуется более старая версия плагина, администратор Jenkins может загрузить более старый архив .hpi и вручную установить его на контроллер Jenkins. Это позволяет системе иметь хороший уровень стабильности и заранее успевать за меняющимися условиями внешней среды.

## Литература

1. Managing Plugins [Электронный ресурс] // The leading open source automation server, Jenkins. – URL: <https://www.jenkins.io>. – Дата доступа: 08.03.2022.

**И. И. Громыко**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **С. А. Лукашевич**, ст. преподаватель

## РАЗРАБОТКА UI/UX DESIGN В IT ПРОДУКТЕ

Что такое UI/UX дизайн? UX/UI дизайн – это конструирование разного рода интерфейсов, в которых важна не только внешняя оболочка, но и удобство пользования.

UX – это User eXperience (дословно: «опыт пользователя»). Это то, какой опыт или эмоции получит пользователь после использования интерфейса. Получится ли у него достичь своих задач и на сколько легко или трудно это сделать.

UI – это User Interface (дословно «пользовательский интерфейс») – то, как выглядит интерфейс и то, какие физические характеристики приобретает. Это определяет, удобно ли пользователю нажимать на иконки, легко ли будет воспринимать текстовую информацию, какой цвет получит каждая составляющая проекта и т.д.

Используя знания по UI/UX дизайну, был разработан сервис для доставки еды. Заказать доставку можно домой из кафе или ресторана, а также к своему столику внутри заведения. Этот сервис также подходит для кинотеатров, имеющих места со столиками.

У каждого проекта есть восемь уровней работы. Каждый из которых включает в себя свой набор инструментов и способов создания. Уровни работы над проектом:

1. Уровень идеи;
2. Уровень стратегии;
3. Уровень набора возможностей;
4. Уровень структуры;
5. Уровень компоновки;
6. Уровень поверхности;
7. Уровень реализации;
8. Уровень проверки.

Это не значит, что каждый проект проходит все эти уровни, возможно и то, что проект пройдёт всего несколько из них, а может и все и не один раз. В проекте по доставке еды, было уделено внимание каждому из данных уровней.

Придумывание концепции началось с UX исследования. Без него невозможно было понять для кого создаётся приложение и с какой целью. Основой любого исследования является анализ целевой аудитории. Наиболее простые способы понять, кто пользователь – это опросить владельцев похожих сервисов, и скорее всего у них будет вся необходимая информация. Если такой возможности нет, можно провести собственное исследование. Наиболее информативным способом является анализ при помощи разнообразных сервисов, заточенных под это. Например, «Яндекс.Метрика» или «Google Analytics».

После того, как получены данные о пользователях и известна идея проекта, можно определиться какие UX методы использовать. Определившись с методом исследования на каждом из уровней и проработав каждый метод можно приступать к UI проекта. Зная информацию, можно определиться с цветами для проекта, размерами и видом шрифтов и т.д.

После проведения исследований, стало понятно каким должно быть приложение. Оно должно быть современным, но это не значит, что оно должно быть сверх инновационным так как им пользуются не только молодые люди, но и пожилые. Приложение должно быть стильным и понятным одновременно для всех поколений. Поэтому было принято решение использовать классику, т.е. чёрно-белые оттенки. Так же кнопки и шрифты достаточно крупные, чтобы их без труда можно было нажать или прочесть. В приложении присутствуют новые фишки, но даже не зная и не понимая их, можно пойти привычным путём и достичь того же результата. С получившимся результатом можно ознакомиться на рисунке 1.

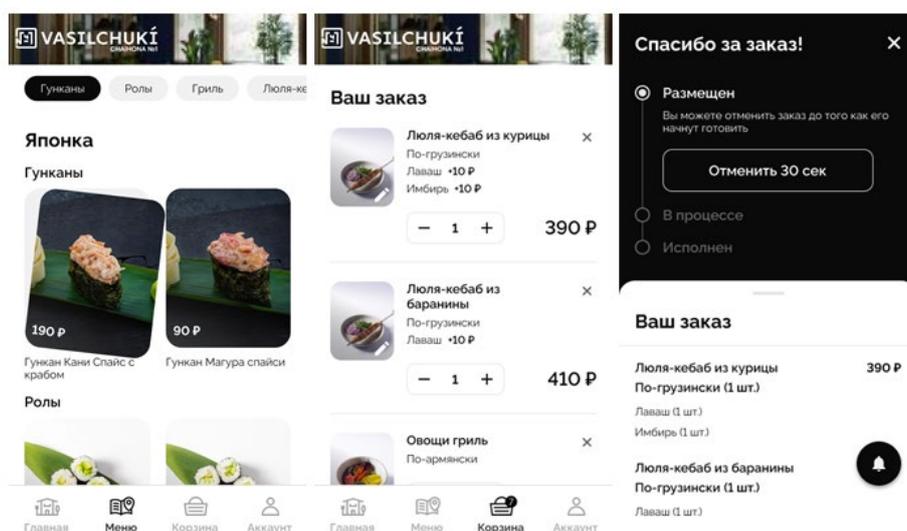


Рисунок 1 – Основные экраны сервиса (Меню, Корзина, Чек)

**А. Д. Губанова**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **О РАЗРАБОТКЕ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СВЯЗИ В КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ**

В условиях расширения деятельности зон искусственных спутников возникает необходимость в средствах навигации и коммуникации для упрощения работы летательных аппаратов. Для этого, как следует из практических наблюдений, в обеспечении функций связи наиболее удобны мобильные приложения по отображению интерактивных карт околоземного пространства. Навигационно-коммуникационная сеть

должна быть обеспечена наземными станциями и ретрансляторами, имеющими возможность передавать данные от станций устройствам на орбите. Головной сервер, должен собирать и обрабатывать всю информацию из сети, и передавать обработанные данные другим узлам.

Для реализации собственного мобильного приложения были рассмотрены и изучены технологии, используемые при разработке соответствующих программных средств, определена структура модуля.

Приложение разработано на ОС Android. Разработка мобильных приложений предполагает разделение программного кода и дизайна: код хранится в файлах классов, которые размещены в пакетах; дизайн представлен файлами разметки, которые хранятся в директории ресурсов и привязываются к контекстным классам по имени. В качестве языка программного кода использовался Java, разметка реализована на базе XML. Для хранения графических данных модуль снабжён локальным файловым хранилищем, для текстовых – легковесной базой данных SQLite, которая хорошо подходит для мобильных приложений.

При запуске программы пользователь должен авторизоваться. После успешной авторизации открывается начальная страница с описанием основных функций приложения. В верхней панели располагается кнопка меню, из которого доступны остальные функции разработанного приложения.

Модульность и гибкость архитектуры являются ключевыми факторами при проектировании программы, поскольку в результате технического переоснащения космических аппаратов функционал может претерпевать значительные изменения.

**Е. О. Дагаров**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Г. Ю. Тюменков**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **ОБРАБОТКА ВИДЕО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ DEEP LEARNING И OPENCV**

В современном мире большое количество информации передается с помощью изображений и видео. Обработка информации, хранящейся в видео, является сложной теоретической и практической задачей.

Существует множество способов обработки видео. Одним из них является метод обработки видео с использованием Deep Learning и OpenCV. Результаты полученные при обработке видео используются во многих областях. Наиболее часто полученные результаты используются в логистике: для распознавания транспорта, поиска и отслеживания людей, трекинга объектов и другого. Также полученные результаты используются в розничной торговле, банках и других областях.

Python – высокоуровневый язык программирования общего назначения. Язык программирования Python применяется во многих областях. Он применяется в таких областях как: настольные приложения, игры, веб, скрипты для автоматизации процессов и многих других областях.

Библиотека OpenCV является бесплатной кроссплатформенной библиотекой, используемой для обработки изображений и видео в режиме реального времени. Данная библиотека работает с такими языками программирования как C\C++, Python, Java, MATLAB. OpenCV является основной библиотекой в задачах, реализующих механизмы компьютерного зрения [1–3].

Библиотека NumPy (Numeric Python) это библиотека с открытым исходным кодом для языка программирования Python. Она основана на библиотеке LAPACK. В данной библиотеке реализованы общие математические и числовые операции в виде готовых функций, которые объединяются в высокоуровневые пакеты.

Для реализации метода определения объектов с использованием глубокого обучения сначала необходимо подключить библиотеки NumPy, OpenCV, imutils. Далее необходимо инициализировать классы для определения объектов на видео и произвести настройку камеры. Для запуска видео с камеры используется команда `VideoStream(src=0).start()` и с помощью команды `FPS().start()` запускается счетчик FPS.

Командой `vs.read()` получаем кадр с видео потока и изменяем его размер, устанавливая значение его максимальной ширины равным 400. Далее с помощью команды `frame.shape` получаем размер кадра далее преобразуем кадр с использованием модуля `dnn`. Данный модуль предназначен для загрузки и запуска нейронных сетей.

Необходимо провести фильтрацию полученных данных. Для этого необходимо решить необходимо ли выделять и подписывать найденные объекты. Для это необходимо создать цикл, который будет проводить проверку для каждого обнаруженного объекта. Если вероятность больше заданного порога, то нужно вычислить координаты для

рамки вокруг объекта и создать текстовую подпись со значением вероятности совпадения.

Пользуясь командой `cv2.imshow()` производится отображение полученного кадра и далее необходимо прописать код для выхода из программы. Командой `cv2.destroyAllWindows()` происходит закрытие окна программы и прекращение трансляции с камеры.

Полученные результаты можно увидеть на рисунках 1, 2.

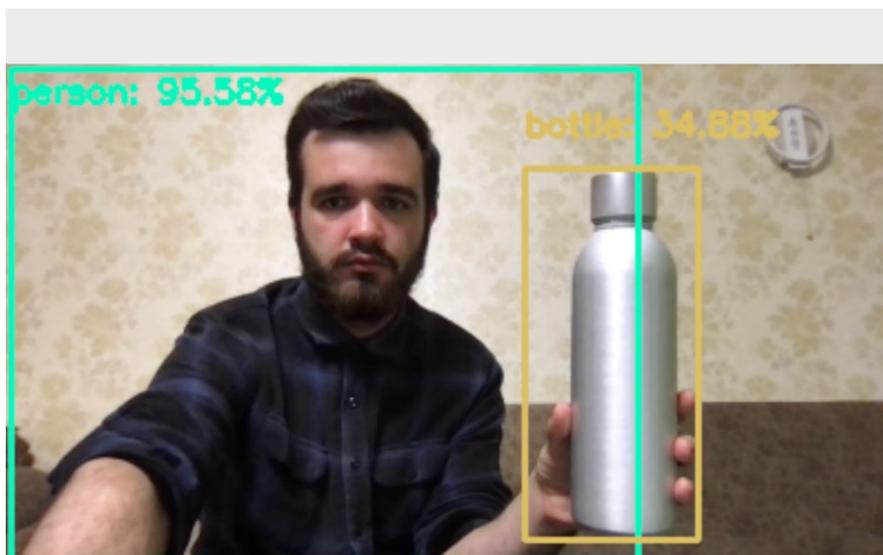


Рисунок 1 – Полученный результат, на котором изображен человек и бутылка воды



Рисунок 2 – Полученный результат, на котором изображен диван и кошка

## Литература

1. Kaehler, A. Learning OpenCV / A. Kaehler, G. Bradski // O'Reilly Media. – 2008. – P. 580.
2. Solem, J. E. Programming Computer Vision with Python / J. E. Solem // Manning publicatios Co. – 2019. – P. 309.
3. Lutz, M. Programming Python, 4th Edition / M. Lutz // O'Reilly Media. – 2010. – P. 1632.

**П. Ю. Дашкевич**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. В. Воруев**, канд. техн. наук, доцент

### АНАЛИЗ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ЖЁСТКИХ ДИСКОВ

Всего за несколько лет твердотельные диски (SSD) практически заменили магнитные жесткие диски (HDD) в качестве стандартного хранилища в ноутбуках и появился новый, твердотельный гибридный накопитель (SSHD), сочетающий в себе лучшее из SSD и HDD.

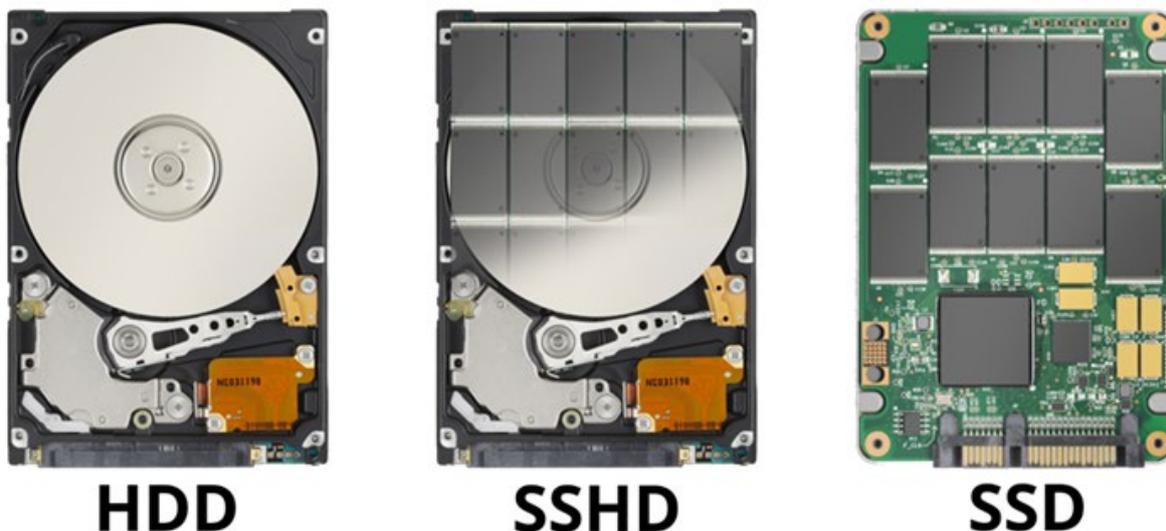


Рисунок 1 – Схематическое различие между HDD, SSHD и SSD накопителями

Девиз Seagate, крупнейшего производителя жестких дисков, для их линейки SSHD: «Производительность SSD. Емкость жесткого диска. Доступная цена». Этот маркетинговый слоган является попыткой

сообщить, что эти новые накопители предлагают преимущества двух технологий без значительного увеличения стоимости.

SSD – это флэш-память, похожая на USB-накопитель, но намного быстрее, так как использует память NAND. С другой стороны, SSHD содержит как обычный жесткий диск, так и память NAND, которая служит большим кэш-буфером (обычно 8–16 ГБ). В отличие от HDD, компоненты SSD и HDD SSHD объединены в единое аппаратное обеспечение. Оба диска доступны в размерах 2,5 и 3,5 дюйма, хотя SSD также имеет форм-фактор M2, который намного меньше по размеру. Существуют SSHD емкостью до 14 ТБ и кэш-памятью SSD 8–16 ГБ, тогда как SSD обычно ограничен 2–4 ТБ. SSD бывают двух видов: SATA и NVMe. SSHD поставляется только с SATA.

Поскольку SSHD, по сути, такой же, как обычный жесткий диск, но с дополнительным пространством внутри диска для хранения твердотельного кэша, SSHD предлагает примерно такую же емкость, как магнитные жесткие диски. Варианты этих дисков для ноутбуков и настольных компьютеров имеют одинаковую емкость.

SSHD стоит незначительно (на 10-20%) дороже, чем магнитный жесткий диск, из-за добавления дорогой твердотельной кэш-памяти и дополнительной прошивки для управления кэширующим процессором. SSHD дешевле, чем полноценный твердотельный накопитель. SSD равной ёмкости стоит от пяти до двадцати раз дороже, чем SSHD.

К общим плюсам использования SSHD можно отнести увеличение производительности в 2–3 раза, по сравнению со стандартными жесткими дисками со скоростью вращения 7200 об/мин при измерении 5 ГБ «горячих» данных, цена позволяет напрямую конкурировать со стандартными жесткими дисками со скоростью вращения 7200 об/мин.

К минусам относят максимальную емкость до 14 ТБ, и при этом всего 8–16 ГБ NAND-кэша, которые заполняются очень быстро, при работе с большими программами, производительность кэширования значительно ниже бюджетных твердотельных накопителей последнего поколения.

SSHD – это способ дать пользователям жестких дисков прирост скорости без значительного увеличения цены.

Основные области применения гибридных жестких дисков в 2022 году – ноутбуки и персональные компьютеры.

В ноутбуках с одним отсеком для хранилища данных вариантов комбинирования накопителей нет. Если вам нужна самая высокая

общая производительность – выбрать нужно SSD. Если нужен самый большой объем хранилища, выбор за SSHD. При очень сильной ограниченности бюджета и необходимости хранить большой объем данных выбора нет – остается приобретать только классический жесткий диск.

SSHD от Seagate интеллектуально изучают, какие приложения вы используете чаще всего, и стараются хранить их в твердотельном накопителе, чтобы сократить время загрузки и повысить общую производительность. SSHD также ускорит загрузку устройства.

Тем не менее, хотя прирост в 2-3 раза можно увидеть для «кэшированных» данных, т.е. программ и файлов, хранящихся на SSD-диске, производительность по-прежнему ниже, чем у обычного SATA SSD.

В большинстве корпусов персональных компьютеров есть место для нескольких дисков, поэтому спрос на SSHD невелик. Многие новые ПК поставляются с SSD и HDD. Операционная система, устанавливается на твердотельный накопитель относительно небольшой емкости, скажем, 250 ГБ, вместе с несколькими приложениями и играми, а жесткий диск предоставляет много места для хранения вашей музыки и коллекции фотографий, которые не требуют быстрого хранения.

Преимущество SSHD, заключается в том, что вам не нужно никакого специального программного обеспечения или конфигурации операционных систем, что упрощает его установку и первичную настройку для неопытных пользователей.

**К. Н. Джембаров**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

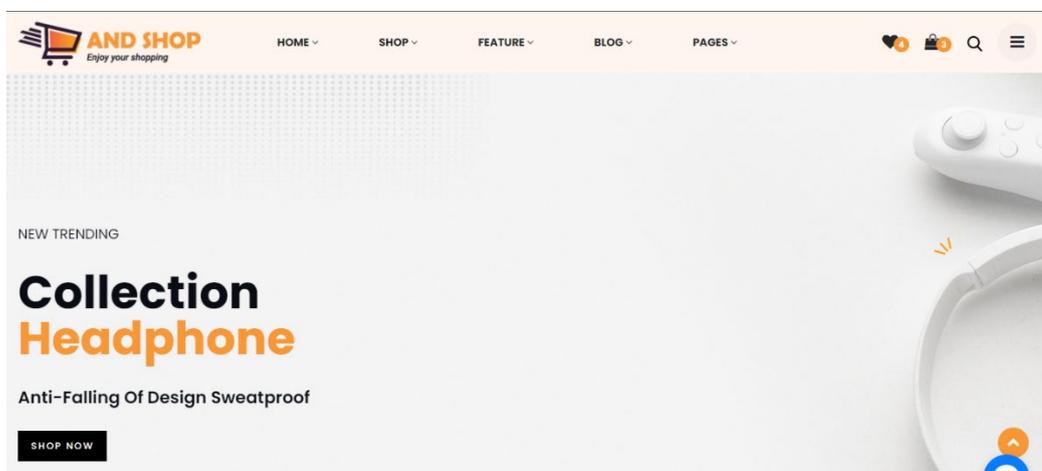
Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА «AND SHOP ELECTRONICS»**

Все больше и больше завоевывают популярность среди людей интернет-магазины. Преимуществом онлайн-магазинов является то, что они торгуют через сеть, что не вынуждает людей физически открывать двери для поиска недоступных ранее ассортиментов товара. Все покупки в онлайн-магазинах можно совершать при поездке в транспорте или же на отдыхе, не выходя из дома.

Достаточно иметь доступ к глобальной сети интернет, чтобы в браузере каждый покупатель мог посмотреть на фото товара, а иногда и в 3d-изображении, что даст возможность иметь лучшее представление о продукте, потом прочитав описание и сравнив отзывы можно приобрести этот товар при помощи заказа и доставки по почте. С оплатой тоже все просто, вы можете рассчитаться как безналичным платежом и электронными деньгами, так и наличными получения товара в руки.

На главной странице web-сайта, изображенной на рисунке ниже, представлена стартовая страница интернет-магазина, на которой содержатся различные информационные ссылки в основном меню сверху. Также имеется корзина заказов клиента и поиск.



В результате работы создан web-сайт, в котором размещена информация клиенту о разных товарах с электронной начинкой. При разработке сайта были использованы Spring Boot, Reactjs.

**Н. А. Доломакин**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)  
Науч. рук. **С. А. Лукашевич**, ст. преподаватель

## **ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ ИГР НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ C#**

В данной работе рассмотрим основные методы разработки компьютерных игр на языке программирования C#. Для создания развлекательных приложений и игр используется игровой движок, с помощью которого мы способны обеспечить музыкальное и звуковое со-

провожение, сетевую игру, графическую визуализацию, встроенные графические сцены и многое другое.

C# («си шарп») – современный объектно-ориентированный и типобезопасный язык программирования. C# предоставляет разработчикам возможность создавать различные типы безопасных и надежных приложений, осуществляющихся в .NET. C# относится к довольно известному семейству языков C, и будет довольно знаком людям, кто работал с такими языками, как Java, JavaScript, C или C++.

Для работы с языком C# многие программисты отдают предпочтение программе Visual Studio. Для работы с C# мы должны установить компонент Microsoft Visual C#, так же мы можем установить различные Framework'и для работы с языком [1–3].

C# популярен за счет своего удобства и простоты. Эти факторы способствуют увеличению количества программистов на данном языке, так как они могут в небольшие сроки создавать функциональные и производительные приложения. Этому способствуют нетипичные конструкции языка и специфичный синтаксис, помогающий максимально органично реализовать намеченные функции.

Популярность языка – это еще один плюс в копилку C#. Большое количество почитателей C# способствуют его развитию. Также это положительно влияет на увеличение вакансий, связанных с разработкой на языке от Microsoft. Программисты, хорошо знакомые с C#, довольно востребованы, несмотря на их большое и постоянно увеличивающееся количество.

C# крайне популярен среди разработчиков видеоигр. Язык используется для разработки игр под Windows, macOS, Android и iOS. Секрет популярности кроется в Unity – платформе для работы с 3D-графикой. C# лучше остальных языков подходит для работы с этим движком. Это послужило причиной выбора многих игровых разработчиков сразу использовать связку Unity+C# для воплощения своих идей в игру.

Оставив Unity, мы можем найти альтернативные способы написания игр на языке C#. Как изложено ранее, для создания полноценной качественной игры мы можем использовать Unity, но если мы хотим написать что-то простое, допустим рассмотрим разработку игры тетрис, тогда мы можем использовать 2D-графику.

Какими же способами мы можем написать тетрис, не используя Unity:

– первый, и самый простой способ написать тетрис – это сделать его консольным приложением. В данном способе мы используем среду разработки Visual Studio. В данном методе нам понадобится напи-

сать консольное приложение, реализующее падение фигур, их движение в стороны и поворот, а также удаление заполненных строк фигур и окончание игры;

– второй способ – графический. В данном способе нам понадобится Windows Forms. Это платформа пользовательского интерфейса для создания классических приложений Windows. Для рисовки нашей игры мы можем использовать пространство имен System.Drawing, которое обеспечивает доступ к функциональным возможностям графического интерфейса GDI+, используя около 50 классов, в том числе класс **Graphics**. Класс **Graphics** предоставляет методы рисования на *устройстве отображения* (другие термины – *графический контекст*, «холст»). С помощью этого класса мы можем нарисовать все контуры, фигуры, но остальной код, связанный с движением фигур остается похож на предыдущий способ;

– третий способ, вызывающий множество неудобств – это использование класса PictureBox в разработке нашей игры. В этом способе мы рисуем основу тетриса, используя данный класс. К примеру, в классическом тетрисе, размерами 10x20, мы будем использовать 200 компонентов PictureBox. Данный способ неудобен тем, что программисту легко запутаться в большом количестве этих компонентов, а также при работе с ними, мы будем писать огромное количество однотипного кода. Код этого способа будет самым длинным из представленных выше.

Конечно, используя платформу Unity, мы сможем сделать хорошую графическую составляющую нашей игры, кроссплатформенность, но сама концепция игры не изменится.

## Литература

1. Краткий обзор языка C# [Электронный ресурс] / Microsoft. – URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/tour-of-csharp/>. – Дата доступа: 21.03.2022.

2. Двумерная графика на C#, классы Graphics, Pen и Brush [Электронный ресурс] / c-sharp.pro. – URL: <https://sharp.pro/общие-замечания-классы-graphics-pen-и-brush/>. – Дата доступа: 21.03.2022.

3. Фленов, М. Е. Библия C#. 2-е издание / М. Е. Фленов. – БХВ-Петербург, 2011. – 560 с.

Д. В. Домасканов

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. А. В. Воруев, канд. техн. наук, доцент

## УСТАНОВКА И НАСТРОЙКА SNMP АГЕНТА В ОПЕРАЦИОННОЙ СРЕДЕ CENTOS 7

Протокол **SNMP** (Simple Network Management Protocol) используется для получения информации о текущем состоянии серверов, сетевых устройств, принтеров и другого IP оборудования (можно собирать различные метрики: загрузка CPU, количество процессов, состояние служб и многое другое). Основные преимущества SNMP – он поддерживается практически на любых устройствах и не требует установки отдельного агента системы мониторинга

Для успешной установки и настройки SNMP агента следует выполнить следующие шаги:

1. Установить агент SNMP и дополнительные утилиты из стандартного репозитория командой - `yum install net-snmp net-snmp-utils -y`

2. Настроить конфигурационный файл `snmpd.conf` добавив в него следующие строки:

```
rocommunity public
```

```
syslocation «myserver»
```

```
syscontact my@email.net
```

3. Добавить в автозагрузку сервис `snmpd` и запустить его

```
systemctl enable snmpd.service
```

```
systemctl start snmpd
```

Для проверки работы SNMP агента выполним следующую команду: `snmpwalk -v2c -c public localhost system`

```
DISMAN-EVENT-MIB::sysUpTimeInstance = Timeticks: (14876) 0:02:28.76
SNMPv2-MIB::sysContact.0 = STRING: admin@build-centos.info
SNMPv2-MIB::sysName.0 = STRING: localhost.localdomain
SNMPv2-MIB::sysLocation.0 = STRING: MSK-DC1
SNMPv2-MIB::sysORLastChange.0 = Timeticks: (3) 0:00:00.03
SNMPv2-MIB::sysORID.1 = OID: SNMP-MPD-MIB::snmpMPDCompliance
SNMPv2-MIB::sysORID.2 = OID: SNMP-USER-BASED-SM-MIB::usmMIBCompliance
SNMPv2-MIB::sysORID.3 = OID: SNMP-FRAMEWORK-MIB::snmpFrameworkMIBCompliance
SNMPv2-MIB::sysORID.4 = OID: SNMPv2-MIB::snmpMIB
SNMPv2-MIB::sysORID.5 = OID: TCP-MIB::tcpMIB
SNMPv2-MIB::sysORID.6 = OID: IP-MIB::ip
SNMPv2-MIB::sysORID.7 = OID: UDP-MIB::udpMIB
SNMPv2-MIB::sysORID.8 = OID: SNMP-VIEW-BASED-ACM-MIB::vacmBasicGroup
SNMPv2-MIB::sysORID.9 = OID: SNMP-NOTIFICATION-MIB::snmpNotifyFullCompliance
SNMPv2-MIB::sysORID.10 = OID: NOTIFICATION-LOG-MIB::notificationLogMIB
SNMPv2-MIB::sysORDescr.1 = STRING: The MIB for Message Processing and Dispatching.
SNMPv2-MIB::sysORDescr.2 = STRING: The management information definitions for the SNMP Use
```

Рисунок 1 – Результат работы SNMP агента

**А. В. Еремич**  
(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)  
Науч. рук. **Л. К. Титова**, ст. преподаватель

## **СОЗДАНИЕ ПЕРСОНАЖА И СОБЫТИЯ ДЛЯ ЕГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИГРЫ НА ДВИЖКЕ GAMEMAKER: STUDIO 2**

Практически в любой видеоигре присутствует персонаж, которым управляет пользователь посредством различных контроллеров, чаще всего – клавиатуры. Однако при разработке игры, персонажа нужно сначала создать, а уже потом заставить его двигаться.

Благодаря средствам движка GameMaker: Studio 2 этот процесс сводится к двум простым действиям: загрузке изображения с набором иконок персонажа (спрайта) для последующей реализации покадровой анимации и создании событий для его перемещения. Причем, если назвать файл картинки определенным образом, средства движка сами разрежут его на кадры, что существенно экономит время разработчику. Далее загруженному спрайту устанавливается коллизионная маска для отслеживания столкновений с другими объектами [1].

Следующим этапом является создание игрового объекта, в котором необходимо указать ссылку на созданный набор спрайтов, и разработка события, отвечающего за перемещение по нажатию определенной клавиши. В GameMaker: Studio 2 такое событие называется Step. Здесь необходимо зарегистрировать набор переменных, каждая из которых будет соответствовать определенной клавише на клавиатуре, причем речь идет не только о перемещении, но и об атаке или взаимодействии с предметами игрового мира. Клавиша для каждого действия не обязательно должна быть одна. Есть возможность, например, реализовать перемещение персонажа одновременно и стрелками, и набором клавиш WASD.

Заключительный шаг – это объявление переменных, содержащих числовую информацию о перемещении персонажа по вертикальной и горизонтальной осям, и прибавление этих значений в каждом кадре к текущим координатам игрового объекта, если выполняется требуемое условие – нажатие клавиши.

В ходе данной работы было расписано, как, используя средства движка GameMaker: Studio 2, создать игрового персонажа и разработать событие, отвечающее за его перемещение по нажатию пользователем определенных клавиш на клавиатуре.

## Литература

1. GameMaker: Studio 2 Manual [Электронный ресурс]. – URL: <https://manual-es.yooyogames.com>. – Дата доступа: 23.03.2022.

**В. А. Ермоленко**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### **РАЗРАБОТКА WEB-СИСТЕМЫ «SCHEDULE»: ПОДГОТОВКА МАСТЕР-ДАННЫХ**

«Schedule» является многомодульной web-системой с микросервисной архитектурой. Все сервисы разделены по функциональному признаку и обладают слабой связанностью (low coupling) и сильной связностью (high cohesion).

Для пользователей доступно мобильное приложение и web-сайт, которые позволяют просматривать расписание практических работ лекций и других занятий. В период сессии также доступно расписание консультаций и экзаменов. Расписание ориентировано как на студентов, так и на преподавателей. Для учреждений образования предоставляется дополнительно два web-приложения:

– одно для удобного создания, редактирования и управления расписаниями,

– другое – для администрирования.

Полноценное расписание невозможно без информации о корпусах, кабинетах, предметах и т. д. но такие данные по большей части статичны, т. е. меняются очень редко, и это обычно связано с существенными переменами в самом учреждении образования, кроме того, есть динамические данные – пользователи, сотрудники, группы и наконец, само расписание. Почти всё вышперечисленное и является мастер-данными системы, необходимыми для работы.

Работа с более чувствительными данными (пользователи, сотрудники) и редко изменяемыми (корпуса, кабинеты) вынесена в сервисы администрирования и хранится в соответствующей базе данных. А само расписание и непосредственно связанные данные – в сервисе редактора. Таким образом, данные разграничены по уровню доступности, частоте использования и функциональной необходимости.

Для доступа к необходимым данным различных сервисов используется Nasura, которая подключается к базам данных (в случае реляционных баз данных, во всех сервисах используется база данных PostgreSQL) и предоставляет API (GraphQL и REST на выбор сервиса-потребителя).

**Д. А. Иокша**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО СБОРУ ЕЖЕМЕСЯЧНОЙ ОТЧЁТНОСТИ**

При распространённой сети региональных представителей, начальникам периодически необходимо собирать с разной периодичностью разнообразные данные от подчиненных. В данный момент инструмент, помогающий автоматизировать сбор информации, способный агрегировать её и предоставлять статистику сдачи отчетов – востребован и актуален.

Разрабатываемая система позволяет автоматизировать сбор периодических и разовых отчетов и предоставляет инструменты для создания сводных документов в автоматическом режиме, а также она интегрирована с почтовой системой и позволяет высылать уведомления о назначенных либо просроченных отчетах.

Проект выполнен как одностраничное веб-приложение. Предусматривается два вида пользователей: администратор и респондент. Администратор обладает широкими возможностями: создавать шаблоны отчетов, прикреплять файл бланка к шаблону, задавать сроки предоставления отчетов, изучать статистику представления отчетов респондентами, агрегировать полученные отчеты в общий документ, редактировать данные пользователей, изменять настройки программы в плане предоставления доступа и взаимодействия с почтовой системой.

Пользователи имеют возможность изменять свои регистрационные данные, отправлять администратору запрос на утверждение изменений, просматривать отчёты и скачивать бланки в назначенном отчете.

При создании автоматизированной информационной системы использовался язык программирования C# с платформой .Net 6. Для реализации выбран фреймворк Blazor в редакции Server. Для взаимодействия с данными в БД используется СУБД MSSQL Server 2017 и Entity-Framework 6.

Разработанная система упростит сбор различного рода информации руководителями отделов УП «ИВЦ Минфина» и предоставление этой информации региональными представителями.

**Р. С. Калинин**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. С. А. Лукашевич, ст. преподаватель

## **ВЕБ-ПАРСИНГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКА PYTHON ДЛЯ СБОРА ДАННЫХ С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ**

Для оценки финансового состояния организации нам необходимо собрать большой объем информации с веб страниц. Например, получить большое количество бухгалтерских показателей. Самое простое что можно сделать – это скопировать данную информацию и вставить в нашу программу. Однако так как нам необходимо получить большое количество данных для различных организаций то единственный и наилучший выход для этого это прибегнуть к парсингу.

Парсинг это программный сбор информации с различных веб сайтов. Такой метод не требует повторного ввода данных или копипастинга, а это значит, что парсеры экономят время, собирают большие объемы данных и группируют их в нужную форму.

В этой статье мы рассмотрим парсинг с использованием таких библиотек как Beautiful Soup и requests в Python.

Requests – это лицензированная HTTP библиотека Apache2 которая позволяет отправлять HTTP запросы с использованием Python. В этой простой в использовании библиотеке присутствует множество функций, начиная от передачи параметров и заканчивая отправкой пользовательских заголовков и проверкой SSL. Прежде всего, requests это внешний модуль, а значит, перед тем как что-то делать, его нужно будет установить.

Модуль запросов Python имеет несколько встроенных методов для выполнения HTTP-запросов к указанному URL и использованием за-

просов POST, GET, PATCH, PUTM, HEAD. HTTP-запрос предназначен либо для получения данных из указанного URL, либо для передачи данных на сервер. Он действует как протокол запроса-ответа между клиентом и сервером. Для этого будет использоваться GET-запрос.

Метод GET используется для получения информации из определенного ресурса.

```
1 import requests
2 # Creating a get request
3 r = requests.get('https://ru.tradingview.com/symbols/MOEX-GAZP/financials-statistics-and-ratios/')
4 # Checking the response from the server
5 print(r)
6 # Printing the request content
7 print(r.content)
```

Рисунок 1 – Создание GET запроса

```
<Response [200]>
b'\n<!DOCTYPE html>\n<html lang="ru" dir="ltr"\n
class="is-not-authenticated is-not-pro is-not-trial
">\n<head>\n\t<script nonce="2ReuEWB410fGfWugK4EI9w==">var environment
= "battle";\n\t\twindow.WS_HOST_PING_REQUIRED = true;\n\t\twindow
.BUILD_TIME = "2022_03_09-13_00";\n\t\twindow.WEBSOCKET_HOST =
"data.tradingview.com";\n\t\twindow.WEBSOCKET_PRO_HOST = "prodata
.tradingview.com";\n\t\twindow.WEBSOCKET_HOST_FOR_DEEP_BACKTESTING =
```

Рисунок 2 – Вывод

Получив HTML страницы необходимо преобразовать этот необработанный HTML в полезную информацию. В первую очередь в этом поможет библиотека Beautiful Soup. Данная библиотека построена поверх библиотек разбора HTML, таких как html5lib, lxml, html.parser и т.д. Таким образом Beautiful Soup и библиотеку синтаксического анализа можно использовать одновременно.

```
1 import requests
2 from bs4 import BeautifulSoup
3 # Creating a get request
4 r = requests.get('https://ru.tradingview.com/symbols/MOEX-GAZP/financials-statistics-and-ratios/')
5 # Checking the response from the server
6 print(r)
7 # Parsing the HTML
8 soup = BeautifulSoup(r.content, 'html.parser')
9 print(soup.prettify())
```

Рисунок 3 – Разбор содержимого HTML

```
<Response [200]>
<!DOCTYPE html>
<html class="is-not-authenticated is-not-pro is-not-trial" dir="ltr" lang="ru">
<head>
<script nonce="8qxAZVHy+NWM00Wsmn9HoA==">
var environment = "battle";
window.WS_HOST_PING_REQUIRED = true;
window.BUILD_TIME = "2022_03_09-13_00";
window.WEBSOCKET_HOST = "data.tradingview.com";
window.WEBSOCKET_PRO_HOST = "prodata.tradingview.com";
```

Рисунок 4 – Вывод

Теперь можно извлекать полезные данные из содержимого HTML. Объект `soup` содержит все данные во вложенной структуре, которые могут быть извлечены программно.

**П. В. Клименко**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. В. Семченко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАНОТРУБОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СНИМКОВ СКАНИРУЮЩЕГО ЭЛЕКТРОННОГО МИКРОСКОПА**

Анализ изображений – область, изучающая методы извлечения полезной информации из изображений. Анализ изображений тесно связан с их обработкой и включает такие задачи, как поиск объектов заданной формы, выделение границ, улучшение изображений, сегментацию и трекинг, количественное описание областей изображения. Эти задачи встречаются в микробиологии, медицине, астрономии, робототехнике, системах безопасности и слежения, а также других сферах науки и техники, имеющих дело с цифровыми изображениями. До недавнего времени анализ и обработка изображений были невыполнимы в полной мере из-за нехватки вычислительных мощностей. Только значительное усовершенствование компьютеров дало возможность появлению современных алгоритмов обработки, позволяющих в полной мере получить информацию о изображении. Даже сегодня построение качественной программы, работающей с изображениями, одна из самых трудоемких и времязатратных задач в сфере компьютерных наук.

Сканирующая электронная микроскопия высокого разрешения (HR-SEM) – один из самых распространенных инструментов, используемых для исследования морфологии нанотрубок.

Снимки сканирующего электронного микроскопа высокого напряжения широко используются для описания морфологии поверхности массивов нанотрубок, а также для качественного описания степени гомогенности их физических свойств на больших поверхностях. Однако количественная оценка морфологии поверхности не менее востребована в таких сферах как контроль производства и разработка спецификаций устройств.

Разрабатываемая программа позволяет провести количественную оценку морфологии поверхности и предоставляет инструменты многостороннего контроля параметров проводимого анализа. Для количественной оценки изучаемой поверхности программа предлагает как несколько хорошо известных, оптимизированных нами алгоритмов, так и новые собственные виды анализа, все еще находящиеся на стадии разработки и тестирования [[1-4](#)].

### Литература

1. Грэхем, Иан Объектно-ориентированные методы. Принципы и практика / Иан Грэхем. – 3-е изд. – М. : «Вильямс», 2004. – 880 с.

2. Мейер, Б. Объектно-ориентированное конструирование программных систем + CD / Б. Мейер. Русская Редакция, 2005. – С.120–138.

3. Шкадов, А. И. Профессиональный CMake. Практическое руководство / А. И. Шкадов. – 6-е изд. – М. : Вильямс, 2018. – 429 с.

4. Лафоре, Р. Объектно-ориентированное программирование в C++ / Р. Лафоре. – 4-е изд. – Питер, 2019. – 928 с.

**У. В. Ключко**

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **О. П. Мурашко**, ст. преподаватель

### **ТРИАНГУЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД ПРОЕКЦИОННОГО СКАНИРОВАНИЯ КАК ОСНОВА КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВВОДА ТРЕХМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Существует множество различных способов получения 3D-измерений и множество типов сканеров, которые основаны на каком-то одном единственном способе [[1](#)].

Получить трехмерную модель объекта можно с помощью обычной веб-камеры и проектора. Бесконтактный метод измерения геометри-

ческих параметров позволяет осуществлять неразрушающий контроль параметров изделий. Наиболее перспективны оптические методы, которые позволят повысить точность измерений, повысить производительность и увеличить дальность измерений.

Трехмерное конструирование является важной темой исследований в области промышленного контроля, компьютерного зрения, навигации, быстрого прототипирования, реверс-инжиниринга и объектного моделирования. В настоящее время конструирование достигается бесконтактными системами, основанными на методах освещения. В этих видах датчиков используются такие методы, как проекция полосы, проекция линии, проекция пятна, время полета и интерферометрия. Однако эти датчики очень дороги, и для получения реконструкции объекта требуется длительное время. Также для сбора данных в них требуются ручные операции. Поэтому возникает задача разработки новой универсальной системы, включающей несколько методов определения топография и построение трехмерной модели объекта не зависят от условий сканирования и исследования.

В работе для проектирования комбинированной системы ввода трехмерных изображений используют два метода: метод триангуляции и метод фазового сдвига.

В этих исследованиях активная триангуляция была использована методами освещения для выполнения контурной обработки изображений. При активной триангуляции расстояние между датчиком изображения и лазерным проектором обеспечивает разрешение по глубине. Но в статической установке отверстия в поверхности возникают из-за ограничения поля зрения датчика изображения и изменения глубины. Поэтому возникают окклюзии. В этом случае реконструкция объекта не завершается.

Для преодоления указанных ограничений объект профилируется с разных ракурсов для получения целостного объекта. Это делается с помощью нескольких камер или мобильной установки. В линейной проекции и точечной проекции глубина объекта вычисляется триангуляцией с использованием положения светового рисунка и геометрии установки. Мобильная установка позволяет избежать окклюзий и повысить разрешающую способность. Однако для вычисления глубины объекта в каждой модификации геометрии необходимо вывести новое уравнение. Этот этап включает в себя новое измерение модифицированной геометрии и определение параметров системы зрения [2].

Моделирование мобильной установки выполняется для достижения конструирования целостного объекта. Мобильная установка реализована электромеханическим устройством, перемещающим камеру и объект по оси. Для выполнения конструирования, объект перемещают и сканируют лазерной линией. На основе деформации лазерной линии разработан алгоритм триангуляционного метода. Для обнаружения мелких деталей, настройка начинается с большого расстояния между лазерной линией и камерой.

В системе реконструкции полученная информация сохраняется в массивной памяти для получения полной формы объекта. Данный вычислительный процесс повышает производительность, разрешающую способность и точность системы реконструкции. Результаты эксперимента оцениваются по среднеквадратичной ошибке. Оценка этих результатов включает погрешность измерения, разрешение, время обработки, дальность измерения и ограничения ПЗС-матрицы.

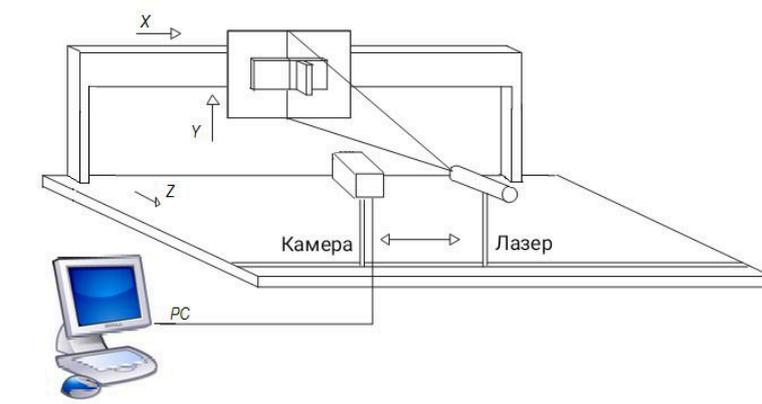


Рисунок 1 – Экспериментальная мобильная установка

Мобильная установка (рисунок 1) включает электромеханическое устройство, ПЗС-камеру, лазерный линейный проектор и компьютер. В электромеханическом устройстве перемещение объекта по оси  $x$  осуществляется с помощью платформы и управляющего программного обеспечения. На объект проецируют лазерную линию для выполнения сканирования. На каждом шаге движения ПЗС-камера фиксирует лазерную линию. Камера ориентирована под углом к поверхности объекта. Данная камера может перемещаться, независимо от лазерного проектора, вдоль оси  $x$ . Каждая лазерная линия деформируется в плоскости изображения по поверхности объекта.

Для имитации лазерного луча используется обычный проектор, выводящий требуемое изображение на объект. Для повышения точно-

сти в процессе получения трехмерная модель объекта сканируется в двух направлениях: по горизонтали и вертикали. Оклюзии лазерной линии появляются в исходной конфигурации за счет вариации поверхности. Такой недостаток данных наблюдается в линии окклюзии и ее ломаном контуре. Чтобы избежать этой окклюзии, ПЗС-камеру перемещают в сторону лазерного проектора или поворачивают объект вокруг себя. Таким образом исключается окклюзия и завершается контур объекта. Однако масштабный коэффициент этих контуров неодинаков. Это связано с тем, что контуры вычисляются в разных положениях камеры. В модели мобильной установки масштабный коэффициент корректируется в соответствии с положением камеры.

Модель мобильной установки доступна для выполнения конструирования с разных ракурсов объекта. Таким образом, исключаются окклюзии, а мелкие детали выявляются. Также получают параметры зрения и исключаются физические измерения на установке. Конструирование выполняется автоматически моделью мобильной установки.

## Литература

1. Компас-3D. Полное руководство: от новичка до профессионала / Н. В. Жарков [и др.]. – Санкт-Петербург : Наука и техника, 2016. – 672 с.
2. Медведев, В. Ю. Сущность дизайна: теоретические основы дизайна : учеб. пособие / В. Ю. Медведев. – СПб. : СПГУТД, 2009. – 110 с.

### Р. А. Книга

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **И. Л. Стефановский**, ст. преподаватель

## **ИНТЕРАКТИВНОЕ ОБУЧАЮЩЕЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ПО МАТЕМАТИКЕ ДЛЯ ГУО «СПЦ ЛЕНИНСКОГО РАЙОНА ГОРОДА БОБРУЙСКА. ДЕТСКИЙ СОЦИАЛЬНЫЙ ПРИЮТ»**

В современном мире человек далеко шагнул в развитии технологий настолько, что техника буквально начинает править и товаром выступает информация. Недаром говорят, что XXI век – век информационных технологий.

Не обошла «цифровизация» и сферу образования. В последнее время стали широко распространяться электронные дневники в школах, а в высших учебных заведениях уже созданы электронные учебные порталы, где преподаватель может публиковать материалы по своей дисциплине или проводить промежуточный контроль знаний студентов.

В данной работе речь пойдёт про android-приложение, позволяющее преподавателю начальных классов контролировать процесс обучения учащихся в сфере математики, проверять их уровень знаний и выполнение домашнего задания. Для учащихся же это приложение будет полезным справочником информации и платформой, где они смогут проверить и дополнить свои знания.

Мобильное приложение было реализовано в среде разработки Android Studio. Android Studio – интегрированная среда разработки производства Google, с помощью которой разработчикам становятся доступны инструменты для создания приложений на платформе Android OS. Среда предназначена как для небольших команд разработчиков мобильных приложений (даже в количестве одного человека), или же крупных международных организаций с GIT или другими подобными системами управления версиями.

Разработанное приложение представляет собой клиент-серверное приложение на основе Firebase. Это приложение будет предоставлять учителю следующий функционал:

- возможность выдавать учащимся задания;
- проверять прогресс учащихся в выполнении заданий.

А учащимся данное приложение будет давать такие возможности, как:

- доступ к базе данных со всей необходимой информацией по предмету;
- проверка знаний на практике, выполняя данные учителем задания.

Мобильное приложение позволит автоматизировать и упростить процесс обучения, как для учителя, так и для учащихся. При разработке использовались средства Java, Kotlin, а «back-end» составляющая была реализована с помощью Firebase.

**Т. Е. Козляк**  
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)  
Науч. рук. **А. М. Кадан**, канд. техн. наук, доцент

## **ОСОБЕННОСТИ ХРАНЕНИЯ JWT ТОКЕНА АВТОРИЗАЦИИ В WEB-ПРИЛОЖЕНИЯХ**

Развитие методов авторизации в web-приложениях породило создания нового стандарта авторизации, основанного на формате JSON, позволяющий создавать JWT (JSON Web Token) токены доступа, которые обычно используются для аутентификации в клиент-серверных приложениях. При использовании данного типа токенов возникает вопрос о том, как безопасно хранить токены в публичной части web-приложениях (Front-end).

В работе предоставляются основные способы хранения токена, а также его виды.

Давайте сначала разберемся какие виды JWT токенов бывают:

– Токены доступа (access token). Используются для авторизации запросов.

– Токены обновления (refresh token). Используются для получения нового токена доступа при истечении срока действия предыдущего токена.

Основные способы хранения JWT Access токена, при:

1. Local Storage / Session Storage (локальное браузерное хранилище) – Основные преимущества заключается в юзабилити (usability), т.к. вся работа с хранилищем происходит довольно просто и на чистом JavaScript. Но у этого способа есть огромный недостаток в виде подверженности XSS-атакам, если вы подключаете сторонние скрипты, которые могут получить доступ к локальному хранилищу.

2. Cookies (небольшой фрагмент данных) – Основные преимущества заключаются в более гибкой настройке. Простое хранения Access токена в cookie чревато подверженности атаками типа CSRF и XSS. Для защиты, можно воспользоваться параметром Cookie SameSite в режиме Strict, который поможет добиться защиты от CSRF атаки, путем сокрытия ваших cookie при обращении к api других сайтов. Также есть возможность защититься от XSS-атак путем использования флага httpOnly, а если еще добавить флаг Secure, он поможет защититься от Сниффинга (Sniffer). Но на cookie-файлы наложены ограничения в 4Кб.

Хранение токена в Local Storage используется в веб-приложении для проведения соревнований по программированию искусственного интеллекта разработанной кафедрой СПКБ ГрГУ им. Янки Купалы с 2021 года.

**И. В. Колядич**

(БрГУ имени А. С. Пушкина, Брест)

Науч. рук. **Н. Н. Ворсин**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **ИЗМЕРИТЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ КОНДЕНСАТОРОВ БОЛЬШОЙ ЕМКОСТИ**

Особенностью данного измерителя является применение электромагнитного колебательного контура на очень низких частотах – порядка 10 Гц. Измеряемый конденсатор подключается к катушке с известной индуктивностью, образуя с ней колебательный контур. Затем измеряется резонансная частота полученного контура, и по формуле Томсона вычисляется электроемкость измеряемого конденсатора.

Эта идея реализована с выполнением дополнительных требований:

1. Малая амплитуда колебаний напряжения на контуре, что должно обеспечить измерение емкости оксидных конденсаторов;
2. Возможность оценки добротности измеряемого конденсатора;
3. Автоматизация процесса измерений, достаточно подключить конденсатор к клеммам прибора и прочесть результат с дисплея.

Для измерения резонансной частоты контура он включается в состав автогенератора колебаний. Частота колебаний принимается в качестве резонансной частоты контура. Частота измеряется простым частотомером, построенном на микроконтроллере `pic16F628`, который пересчитывает ее в значение емкости измеряемого конденсатора и обеспечивает индикацию результата.

Особенностью примененного автогенератора является возможность его работы в линейном режиме, при котором амплитуда вырабатываемых колебаний определяется внешней цепью автоматического регулирования. При этом амплитуда колебаний на измеряемом конденсаторе поддерживается равной 4 – 5 мВ, что исключает нелинейности в контуре. На рисунке 1 приведена схема данного генератора с колебательным контуром. Питание осуществляется током источника I. Можно показать, что данная цепь, обладающая положительной

обратной связью, создает между точками А и В эквивалентную отрицательную проводимость, определяемую упрощенной формулой

$$g_- \approx \frac{-I}{4U_T}, \quad (1)$$

в которой  $I$  – ток питания,  $U_T = kT/e$  – т. н. температурный потенциал, равный 25 мВ при температуре  $T = 293$  К. Эта проводимость складывается с положительной проводимостью колебательного контура и способствует генерации колебаний в последнем. Условие стационарной амплитуды генерируемых колебаний состоит в равенстве нулю суммарной проводимости. Как следует из (1), оно может поддерживаться путем регулирования питающего тока  $I$ .

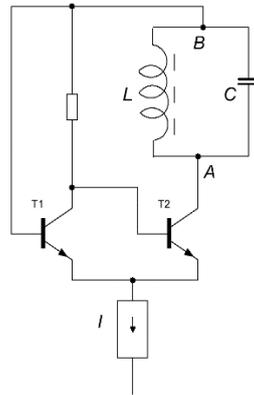


Рисунок 1 – Схема автогенератора

Проводимость контура на резонансной частоте определяется формулой  $g_+ = \frac{1}{\rho Q}$ , в которой  $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$  – характеристическое сопротивление контура,  $Q$  – его добротность. Как правило, добротность контура отождествляется с добротностью его индуктивной ветви  $Q_L = \rho/r_L$ , где  $r_L$  – эквивалентное последовательное сопротивление катушки индуктивности. Однако, оксидные конденсаторы обладают заметным последовательным сопротивлением –  $r_c$ , что вынуждает учитывать его и позволяет оценить конечную добротность емкостной ветви контура  $Q_C = \rho/r_c$ . При этом полная добротность контура выражается через добротности индуктивной и емкостной ветвей простой формулой:  $\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_L} + \frac{1}{Q_C}$ . В результате проводимость контура на резонансной частоте определится следующей формулой

$$g_+ = \frac{1}{\rho Q_L} + \frac{1}{\rho Q_C} \quad (2)$$

В ходе измерения обеспечивается нулевое значение суммарной проводимости. Это позволяет путем измерения тока питания генератора и последующего вычисления определить полную добротность контура по формуле.

$$Q = \frac{4U_T}{I\rho} \quad (3)$$

На рисунке 2 показана электрическая схема измерителя, в которой выделены 3 узла: измерения, вычислений и индикации результата, питания.

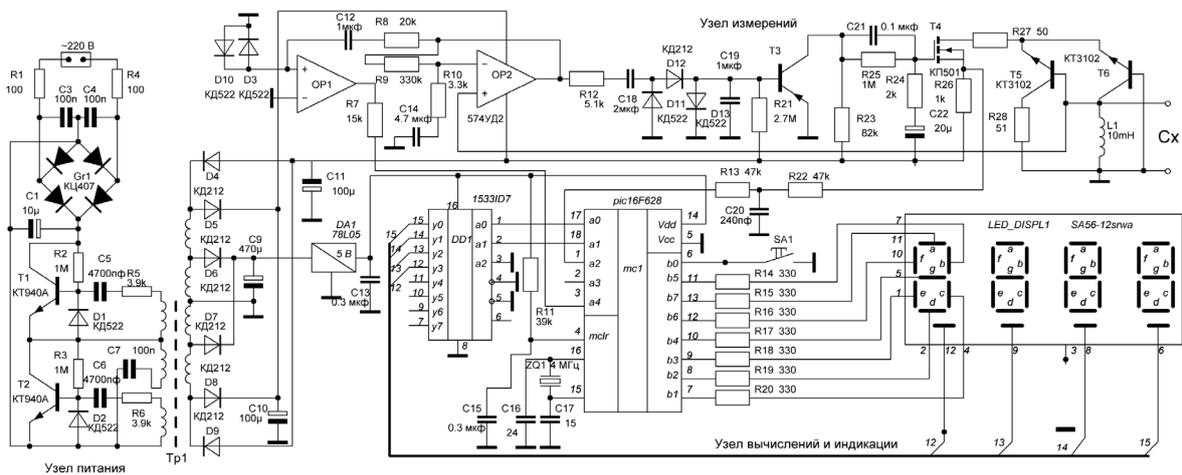


Рисунок 2 – Электрическая схема измерителя

Диапазон емкостей измеряемых конденсаторов 1 – 20000 мкФ. Диапазон измеряемых добротностей колебательного контура – от нескольких единиц до 100. Измеряемый конденсатор подключается к клеммам С<sub>х</sub>. Стабилизация амплитуды осуществляется сильной отрицательной обратной связью (ООС) по ней. Петля ООС образована операционным (OP2) и транзисторным (Т3) усилителями. Статический петлевой коэффициент передачи составляет несколько тысяч. Устойчивость и динамические параметры ООС обеспечиваются фильтром R<sub>24</sub>-R<sub>25</sub>-C<sub>21</sub>-C<sub>22</sub>. Усилитель OP1 преобразует синусоидальные колебания в прямоугольные и передает их в узел вычислений и индикации. Важным элементом измерительного узла является катушка индуктивности L<sub>1</sub>. Она изготовлена на замкнутом магнитопроводе

ЧЗ6, М2000НМ и имеет 32 витка медного проводы, диаметром 0,9 мм. Собственная добротность катушки на частоте 1,5 кГц (верхняя граница рабочего диапазона частот) составляет 100, на частоте 12 Гц (нижняя граница рабочего диапазона частот) – около 10. Согласно (1 и 2) для возбуждения автоколебаний при измерении идеального конденсатора емкостью 1 мкФ требуется ток питания двух транзисторной цепочки (Т5–Т6) 10 мкА. При измерении емкости конденсатора 10000 мкФ необходим ток 10 мА.

Если кнопка SA1 не нажата, измерительный узел представляет собой частотомер, а измеренная частота колебаний пересчитывается в величину измеряемой емкости и отображается на индикаторе. Также вычисляются и запоминаются величины характеристического сопротивления контура  $\rho$  и добротность индуктивной ветви  $Q_L$ .

При нажатой кнопки SA1 микроконтроллер переходит на исполнение второй программы, в ходе которой измеряется напряжение на резисторе  $R_{26}$ , по которому вычисляется ток автогенератора – I. Далее по формуле (3) вычисляется добротность колебательного контура – Q и добротность его емкостной ветви  $Q_c = \frac{\rho Q_L}{Q_L - \rho}$ . Наконец, вычисляется и выводится на индикацию величина последовательного сопротивления конденсатора

$$r_c = \frac{\rho}{Q_c} \quad (4)$$

Благодаря использованному методу измерений удалось без переключений обеспечить диапазон измерений  $C_{\max}/C_{\min} = 10^4$ .

**Г. Н. Кравчинская**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. М. Березовская**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### **РАЗРАБОТКА ДИЗАЙНА WEB-САЙТА «ПАРКИ ГОМЕЛЯ»**

Разработка web-сайта сегодня считается одним из перспективных направлений деятельности для многих организаций, занятых в сфере высокотехнологичных цифровых и компьютерных технологий. web-сайты обеспечивают работу пользователям с любыми устройствами, на которых есть возможность подключения к Интернету. Пользовате-

лю не нужно устанавливать какие-либо приложений для персонального компьютера или мобильного устройства.

Предлагаемый web-сайт «Парки Гомеля» – сайт, рассказывающий о достопримечательностях Гомеля посредством сети Интернет. Позволяет пользователям онлайн, в своём браузере или через мобильное приложение, ознакомиться с очаровательным городом Гомелем.

Главная страница web-сайта изображена на рисунке 1. Структура сайта понятна и проста в освоение для любого пользователя. Пользовательский интерфейс сайта адаптивен для мобильных устройств и для любых разрешений экрана персонального компьютера.

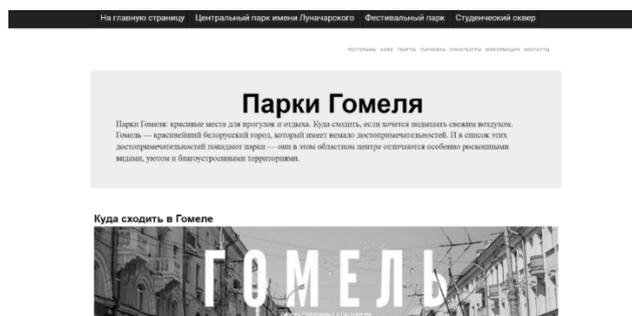


Рисунок 1 – Главная страница web-сайта «Парки Гомеля»

В результате работы выполнена разработка логической и физической структуры web-приложения. При разработке сайта были использованы HTML, CSS, фреймворк Django, Bootstrap, язык программирования Python, две IDE: Microsoft Visual Studio и PyCharm.

**М. В. Кузеев**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. Н. Кулинченко**, ст. преподаватель

## СОЗДАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ В VIRTUALBOX

В рамках проекта была развёрнута локальная сеть в VirtualBox. VirtualBox – это продукт виртуализации x86 и AMD64/Intel64 для корпоративного и домашнего использования.

В качестве первого клиента была создана виртуальная машина Ubuntu (64-bit), был подключён сетевой адаптер «Виртуальной адаптер хоста» с именем «VirtualBox Host-Only Ethernet Adapter». В качестве второго клиента была также создана виртуальная машина Ubuntu (64-bit) с такими же настройками сети [1].

Затем был создан сервер Windows Server 2012 с аналогичными настройками сети, эти настройки были выбраны для того, чтобы эта виртуальная машина и предыдущие могли взаимодействовать с другими виртуальными машинами, которые также подключены к этому адаптеру, также в нём были настроены определенные правила для файрволла, также для проверки подключения между клиентом и сервером на стороне сервера была создана директория share\_folder и доступ к этой директории был представлен конкретным пользователем, а именно пользователю superusers и администратору.

После создания директории share\_folder и выдачи специальных прав юзеру superusers, было проверено подключение из клиентских машин к данной директории, для проверки подключения в первой клиентской виртуальной машине нужно ввести путь к серверу в данном случае был выбран тип smb, затем нужно выбрать тип подключения Registered User, ввести имя созданного ранее пользователя и пароль. После успешного подключения была попытка создать директорию test\_folder и файл tests.txt, и ввести сообщение в текстовый файл, это было выполнено без каких-либо проблем. Такие же действия были выполнены из второй клиентской машины Ubuntu, кроме этого, было изменено сообщение в текстовом файле и это не привело к каким-либо ошибкам, связанным с недостаточным количеством прав, либо проблемами с подключением и это значит, что настройки прав и сети были выполнены успешно.

## Литература

1. Настройка сети VIRTUALBOX [Электронный ресурс] // Блог Losst. – URL: <https://www.losst.ru/nastrojka-seti-virtualbox>. – Дата доступа: 08.02.2022.

**М. В. Кузеев**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. Н. Кулинченко**, ст. преподаватель

## СОЗДАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ В VMWARE

В рамках проекта была развёрнута локальная сеть в VMWare Workstation. VMWare Workstation — программное обеспечение виртуализации, предназначенное для компьютеров x86-64 операционных

систем Microsoft Windows и Linux. Позволяет пользователю установить одну или более виртуальных машин на один физический компьютер и запускать их параллельно с ним [1].

В качестве первого клиента была создана виртуальная машина Ubuntu (64-bit), был подключён сетевой адаптер «Host-only bridged to VirtualBox Host-Only Ethernet Adapter» с именем «VMnet0». С host-only сетевым адаптером среда VMWare не пытается использовать физический интернет адаптер на хост-машине. Вместо этого в VMWare вы можете создать один или больше виртуальных адаптеров для подключения между хостом и виртуальными машинами созданными в VMWare на хост-машине. Host-only адаптер может также работать как DHCP сервер для присоединения IP-адресов для виртуальных машин. Хост-машина может подключаться к виртуальным машинам используя эти IP-адреса через SSH или SFTP. В качестве второго клиента была также создана виртуальная машина Windows 10 (64-bit) с такими же настройками сети.

Затем был создан сервер Ubuntu (64-bit) с аналогичными настройками сети, эти настройки были выбраны для того, чтобы эта виртуальная машина и предыдущие могли взаимодействовать с другими виртуальными машинами, которые также подключены к этому адаптеру, также для проверки подключения между клиентом и сервером на стороне сервера был создан простой Apache веб-сервер.

После создания Apache веб-сервера было проверено подключение из клиентских машин к данному серверу, для этого на первой клиентской машине Ubuntu в окне браузера был введён IP-адрес для перехода на данный веб-сервер и страница с этим веб-сервером успешно загрузилась, после этого на второй клиентской машине Windows 10 также был введён IP-адрес в окне браузера для перехода на веб-сервер и страница с веб-сервером успешно загрузилась, что подтверждает корректную настройку сети между сервером и двумя клиентами в среде VMWare.

## Литература

1. Документация VMware [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.vmware.com/support/pubs/>. – Дата доступа: 08.02.2022.

**Н. В. Кулинченко**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)  
Науч. рук. **В. Н. Кулинченко**, ст. преподаватель

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ РАБОТЫ ТОЧКИ ДОСТУПА WI-FI**

В рамках проекта создавалось программное обеспечение для расчёта дальности действия Wi-Fi сигнала беспроводными устройствами. Данным программным обеспечением можно пользоваться при практическом построении беспроводной сети, состоящей из нескольких точек доступа.

Для разработки программного обеспечения был выбран язык Visual Basic. При помощи Visual Basic можно разрабатывать и тестировать сложные приложения без прямого использования функций API.

К входным данным программы относятся:

- мощность передатчика;
- коэффициент усиления передающей антенны;
- коэффициент усиления приемной антенны;
- чувствительность приемника на данной скорости;
- потери сигнала в коаксиальном кабеле и разъемах передающего тракта;
- потери сигнала в коаксиальном кабеле и разъемах приемного тракта;
- запас в энергетике радиосвязи;
- центральная частота канала.

Выходными данными программы являются:

- суммарное усиление системы;
- потери в свободном пространстве;
- дальность связи.

В программе были реализованы следующие процедуры.

Процедура *cmdRaschet\_Click* – расчет дальности действия канала связи.

Процедура *Combo1\_Click* – изменение списка оборудования и вывод в поля ввода его параметров.

Процедура *Form\_Load* – инициализация списков при запуске программы.

Блок-схема алгоритма работы программы приведена на рисунке 1.

Установка программы производится как в отдельный каталог, так и в каталог с программами аналогичного назначения.

Созданное программное обеспечение для расчета дальности работы точки доступа Wi-Fi позволило решить задачу автоматизации теоретических расчетов значимых параметров беспроводной сети Wi-Fi.

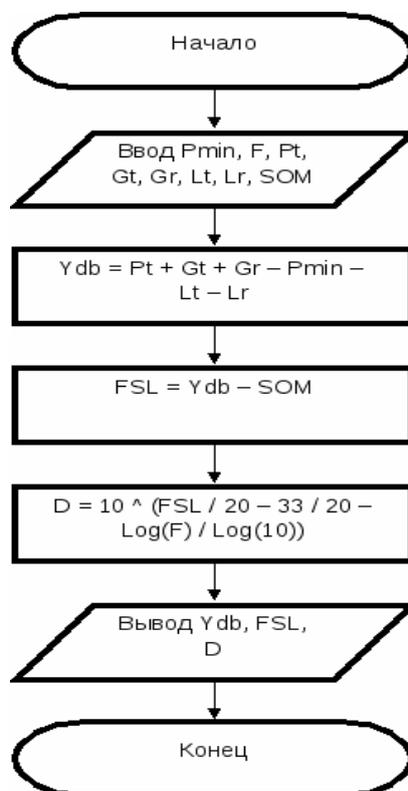


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма программы

**Г. А. Лапунов**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **М. А. Подалов**, ст. преподаватель

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ORANGERI ДЛЯ РАЗРАБОТКИ БОТАНИЧЕСКОГО ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА**

На сегодняшний день мы находимся на пороге очередной промышленной революции, которая объединяет в себе три сферы глобальных производственных систем: биологическая, физическая и цифровая. Одна из технологий новой революции – это «интернет вещей» (IoT). Internet of Things – концепция вычислительной сети физических предметов, оснащённых встроенными технологиями для взаи-

модействия друг с другом или с внешней средой. Ярким примером IoT является система умный дом, включающая в себя сеть датчиков и центральный процессор, который обрабатывает полученные с датчиков данные.

Проект является дополнением системы «Умный дом» и предлагает возможности контроля условий микроклимата. Разработка представляет собой совокупность датчиков, которые работают под управлением микроконтроллера Raspberry Pi. Благодаря своим характеристикам данный микроконтроллер широко используется для разработки умных и мобильных устройств, а также элементов IoT. [1]

Персональная метеостанция может быть, как интегрируемым в уже существующую систему модулем, так и независимым устройством, представляющим собой распределённую аппаратно-программную систему. Физически устройство состоит из двух модулей: выносной и базовой. Выносной модуль содержит датчики влажности и температуры, микроконтроллер Raspberry Pi и трансивер для приёма-передачи данных на частоте 433 МГц. Базовый модуль принимает данные от выносного модуля и получает данные от датчиков (влажности, температуры, атмосферного давления), подключённых непосредственно к нему. [2] На базовом модуле развернут web-сервер на основе Orange Pi, что позволяет интегрировать устройство в существующую систему «Умный дом». [3]

Устройство позволяет считывать данные с точностью до 0,1 градуса для датчика температуры, 0,1% для датчика влажности и до 1 мм ртутного столбца для датчика давления. Настройка, программирование и сборка кода web-сервера производилась с помощью программного обеспечения PlatformIO IDE и на базе программной платформы Node.js. Для разработки клиентского приложения использовался следующий стек технологий: язык разметки HTML, язык программирования JavaScript, формальный язык описания внешнего вида документа CSS.

Устройство может быть интегрировано с клиентским приложением. Клиентское мобильное приложение позволит удаленно осуществлять контроль и наблюдение атмосферных параметров помещения, в котором установлена домашняя метеостанция. Корпуса базового и выносного устройств проектируется с помощью программного обеспечения Autodesk Inventor. Данная САПР позволила быстро и просто создать 3D-модель корпуса с посадочными местами для комплектующих элементов устройства, реализация модели осуществляется с помощью 3D-принтера.

Главным преимуществом данного проекта является его высокая аппаратная и программная вариативность. Аппаратная вариативность предоставляет возможность выбирать тот набор датчиков, который необходим для конкретного пользователя или существующей системы. Причем, для внедрения нового датчика в устройство его нужно лишь физически подключить к существующему интерфейсу, а программная составляющая автоматически его интегрирует в информационную систему. Программная вариативность подразумевает возможность выбора того стека технологий, который наиболее эффективно позволит решить поставленные задачи.

### Литература

1. Raspberry Pi Series Datasheet Version 3.3 [Electronic resource] // Espressif Systems. – URL: <https://wiki.merionet.ru/servernye-resheniya/36/arduino-vs-raspberry-pi-cto-vybrat/> – Date of access: 21.03.2022.
2. Non-volatile storage library [Electronic resource] // Espressif Systems (Shanghai). – URL: <https://habr.com/ru/post/167459/>. – Date of access: 21.03.2022.
3. Arduino core for the Raspberry Pi [Electronic resource] // GitHub. – URL: <https://github.com/raspberrypi>. – Date of access: 21.03.2022.

**Н. В. Лукашевич**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Г. Ю. Тюменков**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### ТЕХНОЛОГИЯ БЛОКЧЕЙН

Криптовалюта – это разновидность валюты в цифровой (виртуальной) среде. Системы таких валют являются децентрализованными (нет центрального органа администрирования). Существуют разные способы создания блоков в блокчейне, но мы рассмотрим майнинг и форжинг (минтинг).

Майнинг в дословном переводе добыча полезных ископаемых – это процесс создания блоков в блокчейне используя вычислительные мощности компьютерного оборудования.

Форжинг в переводе ковка или же минтинг в переводе чеканка монет – это также процесс создания блоков в блокчейне, но на основе подтверждения доли владения.

Блокчейн от английского block – блок, chain – цепь, дословно цепочка блоков, содержащих информацию. Блок содержит информацию о транзакциях. Транзакция считается завершенной и подтвержденной, когда она проходит все проверки в сети и записывается вместе с другими транзакциями в блок. Все блоки связаны между собой, так как каждый новый блок содержит информацию о предыдущем и их содержимое может быть проверено. И соответственно в блокчейне содержится информация обо всех транзакциях, когда-либо совершенных в сети. Например, сегодня блокчейн биткойна весит более 380 Гигабайт. Для добавления блока в цепочку, он должен пройти проверку, называемую консенсусом.

Есть разные механизмы проверки, но мы рассмотрим PoW – Proof of Work (Доказательство выполнения работы) и PoS – Proof of Stake (Доказательство доли владения).

PoW использует оборудование майнера, решая сложные математические задачи. Поиск решения блока – сложный процесс, для которого нужны значительные вычислительные мощности. Когда решение найдено, оно отправляется на другие компьютеры сети для проверки, тем самым закрепляя блок в сети. Особенностью является то, что математическая задача является сложной для майнера, но легкой для сети. Фактически решение ищется методом перебора и для успешного решения требуется множество попыток. Майнер, который первым найдет верное решение, получает награду в виде криптовалюты. Из недостатков защиты такого метода можно отметить «атака 51%» – когда майнер имеет больше половины вычислительных мощностей сети, у него появляется возможность подтверждать свои блоки и игнорировать чужие, но получить половину мощности сети будет очень дорогостоящим занятием. Это позволяет получать ему всю эмитирующую валюту и возможность блокировать транзакции, что будет приводить к исчезновению со счетов криптовалют в новых блоках. Также проблемой является то, что для больших вычислительных мощностей требуется большое количество электроэнергии.

Долгое время PoW был единственным механизмом консенсуса. Из-за его проблем таких как «атака 51%», высокий расход электроэнергии и «гонка вооружений» – когда майнеры постоянно увеличивают вычислительную мощность и старое оборудование перестает получать новые блоки, нужно было придумать новые способы кон-

сенсуса. Одним из таких стал PoS. При таком механизме взамен вычислительных мощностей имеет значение количество криптовалюты, находящейся у валидаторов (узлов системы блокчейна, которые поддерживают его работоспособность) на счету. Чтобы стать валидатором нужно заморозить часть монет (сделать ставку), тем самым приняв участие в стекинге, и в этом случае компьютер станет узлом. Криптовалютный алгоритм выбирает случайным образом одного валидатора из всех для создания нового блока. Механизм PoS может учитывать некоторые факторы для выбора, например: сумму активов (долю владения от всего количества криптовалюты), время, когда было получено последнее вознаграждение, срок участия валидатора. Например, участник, который владеет 1% от всего количества криптовалюты, в среднем будет генерировать 1% новых блоков. Если узел выбран для проверки следующего блока, он проверит, все ли транзакции в нем действительны. Если все в порядке, узел подписывает блок и добавляет в блокчейн. В качестве вознаграждения узел получает комиссии, связанные с каждой транзакцией в данном блоке. Далее блок может проверяться некоторым количеством валидаторов для выявления мошеннических транзакций. Для защиты от мошенничества используется ставка, которую нужно внести, чтобы стать валидатором. Например: валидаторы потеряют часть своей ставки, если одобряют мошеннические транзакции. Если узел перестает быть валидатором его ставка и все комиссии за транзакции, которые он получил, будут разблокированы через определенный период времени.

По сравнению с PoW PoS тратит гораздо меньше электроэнергии так как в PoW майнят все пользователи, а в PoS выбирается один валидатор. Так же PoS имеет большую степень децентрализации, так как в PoW майнеры объединяют свои мощности в пулах для увеличения шанса на добычу нового блока и получения вознаграждения, и эти пулы централизуют процесс майнинга, они могут контролировать большую часть всех мощностей майнинга, что может привести к «атаке 51%». И для PoS не нужно дорогостоящее оборудование, что побуждает людей создавать узлы и делать систему более децентрализованной и более безопасной. Но PoS также может быть подвержен «атаке 51%», хотя для этого нужно занять более половины всей криптовалюты. И также нужно делать исследования и разрабатывать алгоритмы выбора валидатора, для того чтобы понимать все риски и смягчать их.

**Н. В. Лукашевич**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Г. Ю. Тюменков**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **ТЕХНОЛОГИЯ МАЙНИНГА И ОБОРУДОВАНИЕ**

Майнинг в дословном переводе добыча полезных ископаемых – это процесс создания блоков в блокчейне используя вычислительные мощности компьютерного оборудования. Используемый механизм проверки блоков PoW – Proof of Work (Доказательство выполнения работы).

PoW использует оборудование майнера, решая сложные математические задачи. Поиск решения – сложный процесс, для которого нужны значительные вычислительные мощности. Фактически решение ищется методом перебора и для успешного решения требуется множество попыток. Майнер, который первым найдет верное решение, получает награду в виде криптовалюты.

В случае майнинга под мощностью подразумевается скорость, с которой находится верное решение блока. Hashrate (хешрейт) скорость с которой вычисление завершает операцию в коде криптовалюты. Вычислительная мощность сети блокчейна измеряется в H/s (Hash/second) (хеш в секунду). Зачастую эти значения пишут с приставками, например: 1 MH/s = 1.000.000 H/s. Также в некоторых сетях есть обозначение Sol/s (Solution/second) (решения в секунду) что является аналогом H/s. В каждой криптовалюте используется свой алгоритм поэтому одно и то же оборудование будет выдавать разный хешрейт. Есть общий хешрейт сети, который показывает все мощности, направленные на майнинг данной криптовалюты. Например, общий хешрейт сети биткойна на сегодня около 200 EH/s что равняется 200 квинтиллионам хешей в секунду.

Майнить можно на процессоре, видеокарте или используя ASIC (application-specific integrated circuit, интегральная схема для конкретного применения). Сегодня из-за роста вычислительной мощности сетей процессоры не слишком подходят для майнинга в целом, хотя есть алгоритмы, на которых их можно выгодно использовать. ASIC специально разработан для майнинга и отличается высоким хешрейтом по сравнению с видеокартами. Майнинг на видеокартах получил популярность из-за того, что они выгоднее в соотношении цена на хешрейт, а также в соотношении хешрейта на ватты, то есть они потребляют меньше электроэнергии чем ASIC. Также ASIC имеют свойство быстро устаревать.

Есть варианты майнинга в соло и на пуле. Соло майнинг – это когда оборудование ищет решение блока и получает всю награду при его нахождении, но для этого нужно иметь значительную часть мощностей сети. Майнинг на пуле – это когда пользователи объединяют свои вычислительные мощности на пуле и если кто-нибудь из них находит решение, то награда за блок распределяется между всеми, соответствуя их мощностям, подключенным к пулу.

Для того чтобы начать майнить на видеокартах нужно собрать майнинг ферму – это несколько устройств, объединенных для добычи криптовалюты. Ферма состоит из обычных компонентов ПК, но в одну материнскую плату вставляется несколько видеокарт или используются «разера» – переходники, которые позволяют подключать видеокарты через слот PCI-E x1 (позволяют размещать видеокарты на разном расстоянии друг от друга и от материнской платы, что помогает улучшить охлаждение). Установка нескольких видеокарт в одну материнскую плату нужна для улучшения соотношения хешрейта к ваттам, так как материнская плата, процессор и т.д. будут потреблять одинаковое количество электроэнергии.

При производстве чипов видеокарт каждый чип получается уникальным, и каждый чип работая на одной и той же тактовой частоте, может иметь разное рабочее напряжение (напряжение, при котором сохраняется стабильность работы). Также чипы по-разному переносят увеличение их рабочих тактовых частот (одним можно повысить частоты больше, чем другим при сохранении стабильности) и то же самое с оперативной памятью видеокарты (VRAM) (в случае с VRAM это в большей части зависит от производителя чипов памяти). И чтобы увеличить хешрейт можно «разогнать» видеокарты – это означает повышение тактовых частот для ядра и для оперативной памяти видеокарты. Но разные алгоритмы по-разному реагируют на увеличение тактовой частоты, например, одним нужно повышать частоты ядра, а увеличение частот памяти не влияет на хешрейт, вторым наоборот, а третьим нужно повышать и частоты ядра, и частоты памяти. Но изменение этих параметров в некоторых случаях может негативно сказаться на долговечности работы видеокарт. Этот способ увеличивает общий хешрейт видеокарты, но также увеличивает энергопотребление и соответственно температуру, шум от кулеров и ухудшает соотношение хешрейта на ватты.

Но есть другой способ под названием undervolting. На рисунке 1 изображен график распределения, где по горизонтали будет рабочее напряжение, а по вертикали вероятность того, что чип имеет именно

такое рабочее напряжение на стоковых (заводских) частотах. Из распределения мы получаем, что 99,7% всех возможных изделий будут работать на напряжениях из этого интервала. Слева остатки – это отборные чипы, которые работают на самых низких напряжениях, а справа бракованные.

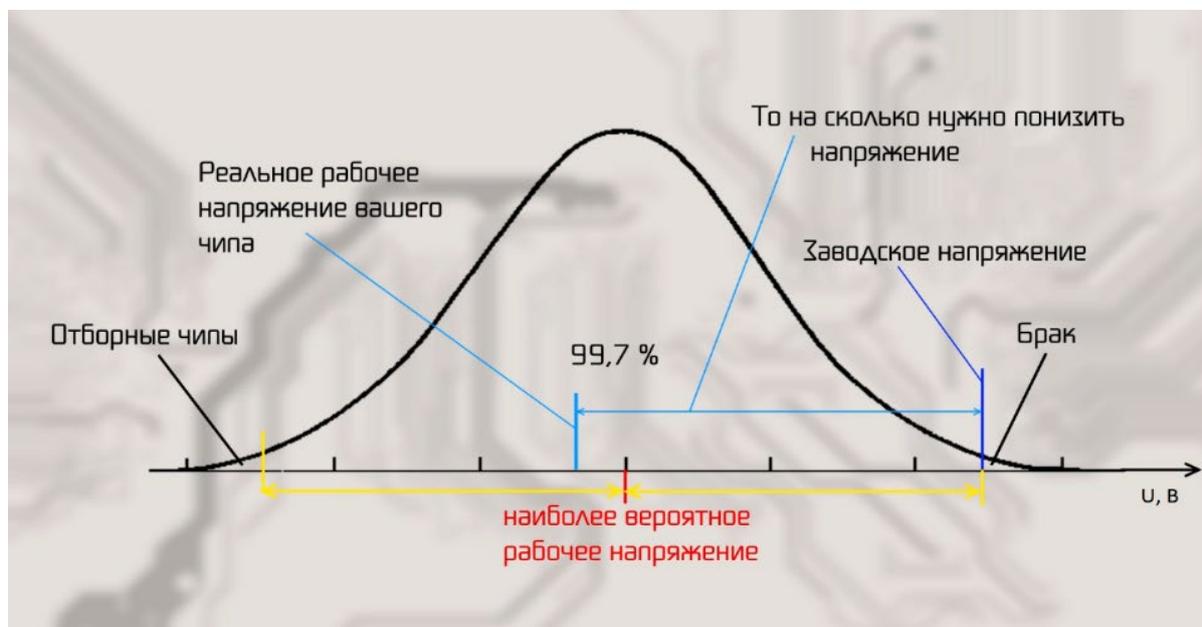


Рисунок 1 – График распределения вероятности рабочих напряжений

С завода ставится напряжение по верхней границе интервала, а по распределению видно, что чип скорее всего будет работать на средней части интервала и заводское напряжение можно снизить для конкретного чипа. Далее подбором и тестами выбирается самое низкое напряжение со стабильной работой. При стоковом напряжении чтобы не выходить за рамки теплопакета (не перегреть видеокарту) частота может незначительно уменьшаться. При снижении рабочего напряжения соответственно уменьшается температура и частота перестает снижаться и фиксируется на одном уровне. В итоге мы получаем меньший нагрев, а в следствии меньший шум от кулеров и стабилизацию частоты, которая может немного поднять производительность.

**Е. О. Мартыненко-Нестеренко**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. М. Березовская**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА ВИЗУАЛЬНОГО КОМПОНЕНТА СТРУКТУР БАЗ ДАННЫХ И СХЕМ АСУ ТП**

В настоящее время большое значение имеет визуализация различных баз данных и схем технологических процессов. Причем, разработки в этом направлении, должны отвечать практическим потребностям конкретного производства.

Поэтому в качестве направления КПУП «Гомельводоканал» была поставлена задача: разработать универсальный компонент для отображения структур различных баз данных и схем АСУ ТП.

В ходе работы был реализован базовый класс `Drawer`, описывающий рисование базовых примитивов, на его основе реализованы наследники:

- `GDI`.
- `GDIPlus`.
- `Drawer2D`.

В зависимости от выбора пользователя и его технических возможностей, доступны различные уровни качества и цветовые схемы. При выборе отображения доступны различные стили элементов `NSCustomGraph`, чтобы элементы с одинаковыми стилями изменяли свойства вместе, группировка стилей в темы, включающие:

- настройки фона;
- настройки обводки.

Для удобства построения схем реализованы:

- Размерная линейка и выравнивание по ней.
- Выравнивание элементов относительно друг друга.

В ходе выполнения проекта более глубоко изучен язык программирования `Delphi`, его современные особенности и новые возможности, методы и возможности модуля `Simple Graph`, методы создания и установки компонентов в среду разработки `Delphi`.

Разработка компонента ведется на основе модуля `Simple Graph` [1], изначально предназначенного для построения графов.

## Литература

1. Delphi area [Electronic resource] // DELPHI AREA projects. – URL: <http://www.delphiarea.com/products/delphi-components/simplegraph/>. – Date of access: 03.11.2021.

**К. А. Мартынович**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **П. В. Бычков**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ANGULAR ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СОВРЕМЕННЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ**

Angular – это фреймворк с открытым исходным кодом, разработанный Google для создания динамичных современных веб-приложений. Приложения Angular создаются с использованием языка TypeScript, который обеспечивает высокий уровень безопасности, поскольку поддерживает типы (примитивы и интерфейсы). Это помогает обнаруживать и устранять ошибки на ранних этапах процесса при написании кода или выполнении задач обслуживания.

Фреймворк также облегчает разработку одностраничных приложений (SPA), которые предоставляют возможности рендеринга на стороне сервера, повышающие рейтинг SEO. Это также помогает быстро загрузить первую страницу и повысить производительность веб-сайта на мобильных устройствах и устройствах с низким энергопотреблением.

Angular обеспечивает простоту разработки, поскольку устраняет необходимость в ненужном коде. Он имеет упрощенную архитектуру MVC, что делает ненужным написание геттеров и сеттеров. Директивы могут управляться другой командой, поскольку они не являются частью кода приложения. В целом, разработчикам обещают меньше кода, а также более легкие и быстрые приложения.

Фреймворк Angular организует код в сегменты, будь то компоненты, директивы, пайпы или сервисы. Те, кто знаком с Angular, называют эти сегменты модулями. Модули упрощают организацию функциональности приложения, разделяя ее на функции и повторно используемые фрагменты. Модули также допускают отложенную загрузку, что открывает возможности для загрузки функций приложения в фоновом режиме или по требованию.

Так же Angular позволяет разделить работу между разными членами команды, сохраняя при этом организованный код. Вы можете извлечь максимальную пользу из модулей, если у вас есть правильное понимание их. Разработчики также могут повысить производительность с помощью соответствующих модулей. Разделение модулей позволяет загружать необходимые сервисы, эффективно выполняя автоматическое тестирование.

**К. В. Медведь**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. С. А. Лукашевич, ст. преподаватель

## **ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ СОВРЕМЕННЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ**

Веб-приложение – это приложение, с которым можно взаимодействовать с помощью браузера, которое состоит из frontend и backend части. Основными отличиями сайта и веб-приложения являются следующие факты:

- сайты носят информационный характер;
- функции, задачи и пользовательский интерфейс необходимый в веб приложении гораздо сложнее;
- веб-приложение всегда является динамическим и более ресурсоемким.

Backend часть осуществляет контроль за выполнением бизнес-правил в конкретном приложении и может состоять из множества связей между различными частями приложения. Так же одной из основных связей сервера является база данных, которая хранит необходимую для приложения информацию. Backend часть веб-приложения может быть написана на разных языках программирования, где определенный язык подбирается под индивидуальные задачи веб-приложения. Основными языками при написании backend являются C#, NodeJS, Java и другие.

Frontend часть веб-приложения отвечает за отображение информации, взаимодействие веб-приложения с пользователями и сбором информации необходимой для приложения. Минимальными инструментами при разработке пользовательского интерфейса является JavaScript, HTML, CSS. HTML это язык гипертекстовой разметки, который используется для корректного отображения элементов в брау-

зере. Используя только HTML, можно создать веб-сайт, но это отображение никак не совпадает со стандартами разработки и видом сайта, к которому привыкли пользователи интернета. CSS это язык программирования, который специализируется на форматировании внешнего вида документа. Используя CSS и накладывая на элементы HTML-документа можно получить статический сайт, который не нуждается в большой бизнес логике. JavaScript это язык программирования поддерживающий императивный и функциональный стиль программирования. Особенностью JavaScript является то, что только этот язык выполняется в браузерах. Добавление скриптов при разработке веб-приложения позволяет сделать динамический сайт и решать различные бизнес-правила.

Перечисленные выше технологии являются необходимой базой, но не достаточными для реализации современного веб-приложения. Для выполнения задач, связанных с пользовательским интерфейсом и обеспечения стандарта опыта пользователя нужно превосходно манипулировать с DOM. DOM – это независимый от платформы и языка программный интерфейс, позволяющий программам и скриптам получить доступ к содержимому HTML-, XML-документов, а также изменять содержимое, структуру и оформление таких документов [1]. Для упрощения создания пользовательского интерфейса и большего контроля над программным кодом используются фреймворки и библиотеки. Основными библиотеками и фреймворками являются React, Vue, Angular. Главное отличие между этими технологиями – это то, что одни используют функциональное программирование (React), а другие объектно-ориентированное программирование (Angular).

Для обеспечения более качественной и безопасной разработки frontend части используется язык программирования TypeScript. Он позволяет расширить возможности языка JavaScript и при этом является типизированным языком программирования, что позволяет избежать ошибок человеческого фактора. TypeScript добавляет в проект типы, интерфейсы, перечисление и много других свойств, которые помогают писать более качественный код. Использование единого стиля написания кода в проекте повышает читабельность кода, помогая разработчикам быстрее понять его. Основными инструментами для этого являются ESLint, Prettier.

Разработка современного веб-приложения затрагивает различные области знаний и множество технологий, позволяя создавать уникальные продукты на мировом рынке.

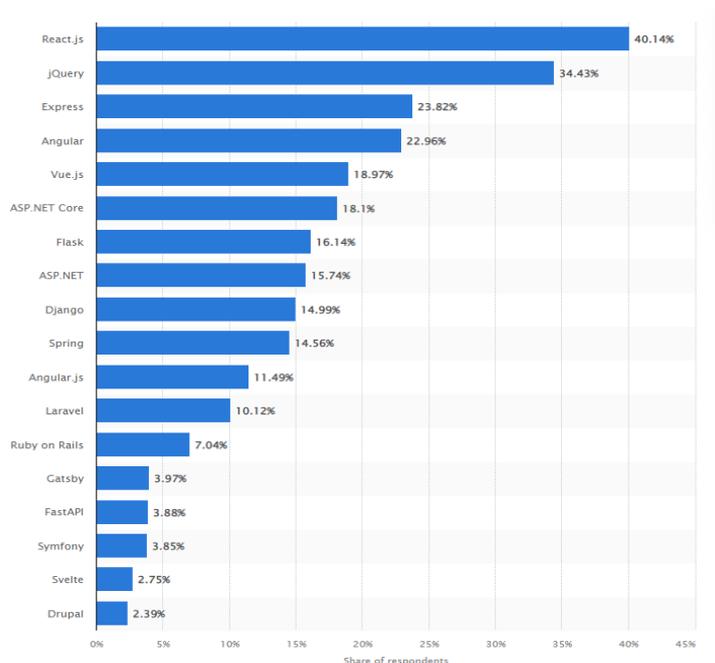


Рисунок 1 – Наиболее используемые веб-фреймворки среди разработчиков по всему миру

## Литература

1. Document Object Model [Электронный ресурс]. // Свободная энциклопедия Wikipedia. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Document\\_Object\\_Model](https://ru.wikipedia.org/wiki/Document_Object_Model). – Дата доступа: 16.02.2022.

**А. В. Меньшиков**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. Н. Кулинченко**, ст. преподаватель

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ПОДСИСТЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СТАТИСТИКИ РАДИООБСЛЕДОВАНИЯ

В результате разработки был получен веб-сайт для визуализации статистики радиообследования, основываясь на данных которого, можно судить о зоне покрытия Wi-Fi сигнала конкретного роутера на изображении плана местности. Веб сайт состоит из заголовка для входа пользователя и отображении информации, основного блока с расположением роутера, планом местности, сайдбара с опциями загрузки предыдущих результатов работ и нижнего колонтитула с информативными данными и функциональными кнопками.

В заголовке сайта пользователь может осуществить аутентификацию в системе для более комфортной работы. После входа пользователь, например, сможет сохранять результаты своих работ прямо на сайте и в последующем получать к ним доступ в любом месте, на котором он также осуществит вход. Также пользователь может сохранять информацию о роутере после входа, чтобы в будущем не вводить все данные снова.

В основном блоке была реализована опция загрузки файла местности. После загрузки изображения плана пользователь может установить роутер с заданными характеристиками в выбранную точку на плане. Далее происходит запрос на сервер, где высчитывается зона покрытия Wi-Fi и пользователю отображается результат. В левой части экрана реализован сайдбар, при активации которого отображаются предыдущие результаты работы программы. Сайдбар можно убирать и показывать, нажав на соответствующую кнопку.

Нижний колонтитул сайта содержит информацию об использованных технологиях, ссылки на GitHub аккаунты авторов, а также некоторые функциональные кнопки.

При разработке были задействованы следующие технологии:

- React – для создания разметки страницы, а также добавления интерактивности ее элементам.

- RESTful API – для получения информации о работе точек доступа Wi-Fi.

- GoLang – для функционирования Back-end приложения и обработки подаваемых к API запросов.

- CSS (в частности SCSS) – препроцессор для облегчения создания дизайна и оформления.

- Webpack – инструмент для сборки модулей проекта.

**Н. А. Миладовский**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **П. В. Бычков**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ СБОРА И АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

В настоящее время во всем мире возрастает интерес к сбору и анализу различной статистической информации.

С помощью удобного просмотра статистических данных разработчики могут узнать, как улучшить свое приложение. Такая статистика помогает понять, какие проблемы возникают при работе приложения и своевременно реагировать на события. Сбор статистики позволяет узнать поведение пользователей и усовершенствовать их взаимодействие с приложением.

С каждым годом все больше и больше набирает популярность модель оказания услуг SaaS (software as a service). При такой модели приложение создается в облаке, например в Amazon Cloud (AWS), Microsoft Azure, Google Cloud. Все вычисления и данные переносятся в облачную среду, а клиенты взаимодействуют с веб-интерфейсом.

Облачные приложения разрабатываются с учетом облачной архитектуры. Преимущества этой архитектуры заключается в большей гибкости, облачная среда предоставляет возможность развёртывать приложение по нескольким географическим областям и предоставляет защиту приложения и его инфраструктуры. Также облака предлагают множество полезных функций для управления развертыванием приложений, что упрощает разработку и поддержку приложения.

Одним из главных преимуществ такой архитектуры является возможность масштабирования. При использовании микросервисов, появляется возможность разработки веб-приложения, которое будет разбито на отдельные модули и будет располагаться на разных серверах. При разработке приложения по сбору статистических данных такая архитектура позволяет разрабатывать независимые модули и добавлять новые возможности. Также облачная архитектура предоставляет возможность уменьшать и увеличивать количество серверов, объем памяти и производительность системы, что позволяет гибко управлять модулями своего приложения.

**Б. А. Мирземетов**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. Н. Леванцов**, ст. преподаватель

## **ФУНКЦИОНАЛ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПОИСКА ВАРИАНТОВ АРЕНДЫ ЖИЛЬЯ**

За основной функционал в проекте отвечает React Framework. Этот фреймворк даёт нам возможность легко создавать клиентские

интерактивные интерфейсы. У компонентов могут быть свои независимые состояния, которые в последствии можно будет объединить в сложные клиентские интерфейсы. Самая главная особенность React является свобода действий, где присутствует большое количество возможностей к написанию приложений. Далее показан официальный логотип React (рисунок 1).

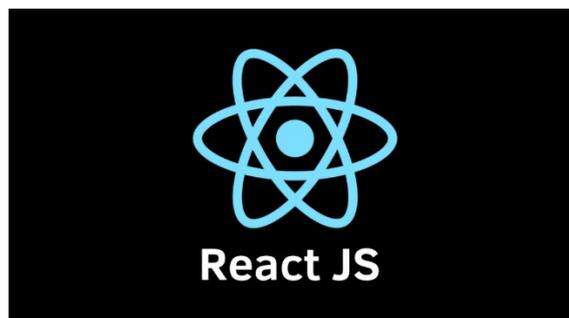


Рисунок 1 – Официальный логотип React

Так же в этом проекте присутствует Redux, технология, которая может интегрированно работать с React. Redux – это возможность грамотно работать с состоянием нашего приложения. Простым приложениям, которые написаны на React, redux использовать не обязательно, так как у React есть своя технология обработки состояния. Далее показан официальный логотип Redux (рисунок 2).



Рисунок 2 – Официальный логотип Redux

Backend side написан на Nest Js. Это тот самый фреймворк, который диктует свои архитектурные правила написания. Весь Nest Js написан на всеми любимом TypeScript, и поэтому имеет все необходимое. Далее показан официальный логотип Nest Js (рисунок 3).



Рисунок 3 – Официальный логотип Nest Js

**Б. А. Мирземетов**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)  
Науч. рук. **В. Н. Леванцов**, ст. преподаватель

### **РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА API ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПОИСКА ВАРИАНТОВ АРЕНДЫ ЖИЛЬЯ**

В качестве диссертации был разработан проект по теме: разработка проекта API для реализации поиска жилья вариантов аренды.

Проект был создан для осуществления поиска свободного жилья вариантов аренды, в необходимой для клиента территории.

Данное приложение даёт возможность пользователям удалённо осуществлять поиски на жилье. Также, пользователь имеет возможность фильтровать поиск необходимыми для клиента признаками: изменять дату и время бронирования жилья, поиск конкретно в выбранной области населения, изменять количество комнат, добавлять или удалять количество людей, которые могут быть с клиентом, отменять бронирование, оплачивать онлайн свое бронирование жилья, а также, отслеживать текущее состояние всех активных жилых зон.

Основными элементами моделей данных в проекте являются: жилье, место, клиент, время.

Управление бронью может осуществляться непосредственно самим пользователем через пользовательское web-приложение.

Так как в основе платформы PinkData лежит React-framework&Redux вместе с Nest Js&TypeScript, то все объекты создаются по технологиям TypeScript с помощью специальных конфигурационных файлов формата type script.

Архитектура проекта представляет собой основу стандартного веб-шаблона разработки. Данное приложение состоит из нескольких слоёв, которые включают в себя: DAO (Data Access Object) layer, Service layer, Controller, View.

Логическая модель данных создана на основе платформенных инструментов и включает в себя около 10 таблиц в базе данных.

Для тестирования приложения используется автоматическое и функциональное тестирование.

Для написания кода приложения, была использована IDE – WebStorm, созданная JetBrains Company.

**В. С. Морза**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. М. Березовская**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ**

Разработка web-приложений сегодня считается одним из перспективных направлений деятельности для многих организаций, занятых в сфере компьютерных технологий. Здесь можно найти и «скачать» любую информацию по интересующей теме.

Целью работы является разработка интернет-магазина электронной техники. Для реализации задания проведен анализ способов и принципов разработки web-приложений, выполнена разработка логической и физической структуры web-приложения. Разработана база данных, включающая в себя шестнадцать связанных между собой таблиц. Все таблицы в базе данных приведены до третьей нормальной формы.

Интернет-магазин соответствует современным требованиям разработки web-приложений в сети Интернет. Главная страница веб-сайта изображена на рисунке 1.

Результатом проекта является разработанный интернет-магазин электронной техники, который рекламирует продукцию, принимает и обрабатывает заказы от потенциальных клиентов. Он позволяет усовершенствовать работу организации, повысить эффективность продаж. В качестве инструментов была выбрана среда разработки Microsoft Visual Studio, при использовании платформы ASP.NET MVC, системой управления базами данных является Microsoft SQL Server.



Рисунок 1 – Главная страница интернет-магазина

**А. Д. Нечай**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА BACKEND ЧАСТИ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ПО ПРОДАЖЕ КНИГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ EXPRESSJS**

Разработка серверной части является неотъемлемой частью любого web-приложения. Правильная структура и связь таблиц в базе данных должна присутствовать в любом крупном проекте. Архитектура backend части приложения должна быть удобна для расширения, поддержки, а также понятна для программиста.

Проект был написан в современном стиле. Использовались следующие технологии разработки: JS, NodeJS, ExpressJS, PostgreSQL, Sequelize. Программная платформа NodeJS и фреймворк web-приложений ExpressJS вошли в основу реализованного приложения. Они являются связующим всего проекта, обеспечивают обработку запросов со стороны клиента, принимают запросы на обработку данных и на их получение. Платформа NodeJS предоставляет возможность подключения к БД, а также работа с ней. На данном проекте использовалась база данных PostgreSQL. Основными ее преимуществами являются мощные и надежные механизмы транзакции и репликации, легкая расширяемость и быстродействие. Sequelize является ORM библиотекой для приложения на NodeJS. Она дает возможность описать структуру БД, связи между таблицами. При использовании этой

технологии разработчику нет необходимости писать SQL запросы, можно работать с данными как с обычными объектами.

Разработанная архитектура системы отлично подходит для web-приложений любой сложности. Реализована возможность авторизации и регистрации пользователя. Имеется разделение прав пользователей на admin и user. Пользователь с правами user имеет доступ к каталогу товаров, личной информации. Он также может совершать заказы на различное количество книг. Пользователь с правами admin имеет такие же права, как и user, но дополнительно получает доступ к приватным url и имеет право на редактирование информации пользователей, изменение их прав и удаление пользователей из БД. Так же разработанное приложение способно обработать запрос пользователей на получение различной продукции интернет-магазина и отправить данную информацию на почту организации.

**П. Е. Новоженцев**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. В. Семченко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ НА PYTHON С ПОМОЩЬЮ ФРЕЙМВОРКА DJANGO**

Python – высокоуровневый язык программирования общего назначения с динамической строгой типизацией и автоматическим управлением памятью, ориентированный на повышение производительности разработчика, читаемости кода и его качества, а также на обеспечение переносимости написанных на нем программ. Язык является полностью объектно-ориентированным в том плане, что всё является объектами [1].

Django – высокоуровневый Python веб-фреймворк, который дает возможность быстро создавать безопасные веб-сайты. Django является фреймворком с открытым исходным кодом, имеет активное сообщество и доступную обширную документацию для его изучения.

Данный фреймворк может быть использован для большого количества типов веб-сайтов – от новостных сайтов и социальных сетей до сложных сайтов для управления какой-либо системой [2].

Django позволяет разрабатывать сайты с достаточно высоким уровнем безопасности и позволяет разработчику избегать различных распространенных ошибки. Django обеспечивает защиту от ряда уяз-

вимостей, включая SQL-инъекцию, межсайтовый скриптинг, подделку межсайтовых запросов и другие.

Фреймворк является очень популярным, что подтверждается тем, что на нем написаны многие популярные сайты, например, Instagram, Twitter, National Geographic, Pinterest, Mozilla.

Разрабатываемое веб-приложение является аналогом социальной сети для узкого круга людей, если быть точным, то для нынешних студентов и выпускников специальности «Физическая электроника». Веб-приложение создается с целью помочь студентам в учебе, так как за четыре года обучения через студентов проходит огромное количество информации, которую где-то кто-нибудь мог не успеть записать или получить другим способом, которую к тому же надо уметь хорошо сортировать, чтобы не потеряться в ней.

Веб-приложение, как выше сказано, будет представлять собой социальную сеть, то есть будет включать в себя: регистрацию пользователя с последующей авторизацией, ссылки на полезные ресурсы, общую ленту, где каждый сможет делиться новостями, комментировать их и оценивать (то есть аналогично социальной сети Twitter), библиотеку с данными для учебы, то есть лекции, методички для лабораторных работ, практические задания, полезные книги и статьи и так далее. Также будет предусмотрена настройка цветовой схемы приложения под себя для комфортной работы. В будущем может быть реализована возможность обмена личными сообщениями.

Итак, данное приложение походит на Twitter, но в упрощенном виде, для достаточно узкого круга людей и с библиотекой полезных данных для хорошей учебы. Надобность данного приложения можно будет узнать в будущем по тому насколько большая будет аудитория.

## Литература

1. Python. [Электронный ресурс] / Свободная энциклопедия Wikipedia. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Python>. – Дата доступа: 10.03.2022.

2. Django введение [Электронный ресурс] / Открытый ресурс MDN Web Docs. – URL: [https://developer.mozilla.org/ru/docs/Learn/Server-side/Django/Introduction#%D1%87%D1%82%D0%BE\\_%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%B5\\_django](https://developer.mozilla.org/ru/docs/Learn/Server-side/Django/Introduction#%D1%87%D1%82%D0%BE_%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%B5_django). – Дата доступа: 10.03.2022.

**А. А. Остапенко**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)  
Науч. рук. **А. Н. Купо**, канд. техн. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА WEB-ПОРТАЛА СПОРТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Для создания макета сайта, было выбрано кросс-платформенное приложение Figma. Помимо того, что его можно использовать с любого устройства и браузера, оно также даёт возможность наблюдать за процессом разработки, а также принимать непосредственное участие в ней, в режиме реального времени. Кроме того, использовался графический редактор Photoshop, с помощью которого корректировалась цветовая гамма, и ряд изображений, используемых в макете.

Макет состоит из шести блоков. Первый блок – навигационное меню с логотипом, представленное на рисунке 1. Этот блок нужен для удобного перемещения по сайту.



Рисунок 1 – Навигационное меню портала спортивной организации

Второй блок – «Главная страница». В нём содержится информация о виде спорта Бразильское джиу-джитсу, а также история возникновения этого направления в контексте всемирно известных боевых искусств. Благодаря этой информации, пользователь сайта, может ознакомиться с истоками и предпосылками развития, и спецификой данного вида спорта. В разделе «О нас» (третий блок) представлена контактная информация о тренировочных клубах в Гомеле и странах ближнего зарубежья. Информация о квалификационных турнирах и соревнованиях.

Четвертый блок представляет более сложную архитектуру, включающую базу данных. Реализована защищённая форма обработки персональных данных и обратная связь с руководством клуба.

Благодаря представленной разработке информация об указанном спортивном напылении станет доступна широкому кругу пользователей и будет способствовать его популяризации, в том числе и посредством интернет.

**А. Н. Пенько**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)  
Науч. рук. **М. А. Подалов**, ст. преподаватель

## **РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ БЕСКОНТАКТНЫХ КАРТ С РАДИОКАНАЛОМ СВЯЗИ**

Радиочастотная идентификация (RFID – Radio Frequency Identification) – технология бесконтактной идентификации объектов, которая осуществляется посредством радиочастотного канала связи [1]. Идентификация объектов (RFID-меток) производится по уникальному идентификатору, который имеет каждый такой объект. Считыватель излучает электромагнитные волны определенной частоты. Метки, в свою очередь, передают в качестве ответа различную информацию – идентификационный номер, данные памяти и пр.

В зависимости от рабочей частоты RFID-метки бывают трёх типов:

- 1) Низкочастотные;
- 2) Высокочастотные;
- 3) Ультравысокочастотные.

Таблица 1 – Частоты работы RFID-меток

Обозначение	Частота
Low Frequency (LF)	125–134 кГц
High Frequency (HF)	13,56 МГц
Ultra High Frequency (UHF)	860–960 МГц

Считыватели RFID-меток бывают двух типов:

1) Стационарные – крепятся неподвижно на различных поверхностях или механизмах и могут иметь различные формы, например, в виде замка. В отличие от переносных, стационарные считыватели, как правило, имеют большую зону чтения и могут обрабатывать сразу несколько меток одновременно.

2) Мобильные – имеют относительно небольшую дальность действия и обычно не имеют постоянно поддерживаемой связи с программой, отвечающей за контроль и учёт. У мобильных считывателей имеется внутренняя память, в которой хранятся данные меток. Как и стационарные, мобильные считыватели могут записывать информацию в метку.

В данном проекте разрабатывается мобильный считыватель RFID-меток, работающих на частоте 13,56 МГц. Для сборки прототипа устройства и отладки программной части проекта будет использоваться плата Arduino Uno и RFID-модуль RC522 [2].

Конечный вариант считывателя будет представлять собой компактное устройство с OLED-дисплеем, клавишами для переключения между функциональными режимами и работающее от одной батареи с напряжением 9 В или от трёх батарей с напряжением 1,5 В каждая. Для хранения потенциально большого объёма данных, считанных с RFID-меток, устройство будет обладать дополнительным несъёмным модулем EEPROM-памяти 24LC512 [3].

Предполагается наличие у считывателя трёх режимов работы:

- 1) Чтение меток и отображение полученных данных на экране;
- 2) Чтение меток, отображение на экране и сохранение полученных данных в памяти;
- 3) Запись данных в метку.

## Литература

1. RFID [Электронный ресурс] // Свободная энциклопедия Wikipedia. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/RFID>. – Дата доступа: 22.03.2022.

2. RFID-модуль RC522 [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании 3DIY. – URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/rfid-modul-rc522/>. – Дата доступа: 22.03.2022.

3. 24LC512-I/SM, Последовательная энергонезависимая память, 32Кх8 [Электронный ресурс] // ЗАО «ЧИП и ДИП» – Приборы, Радиодетали и Электронные компоненты. – URL: <https://www.chipdip.ru/product/24lc512-i-sm>. – Дата доступа: 22.03.2022.

**М. А. Петруша**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. В. Андреев**, д-р физ.-мат. наук, профессор

## РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННЫХ WEB-ПРИЛОЖЕНИЙ

В данной работе рассмотрим основные принципы разработки web-приложений на языке программирования JavaScript. На сегодняшний

день JavaScript является единственным языком программирования для браузеров. Он работает под Windows, macOS, Linux и на мобильных платформах, то есть везде.

Язык JavaScript ни коем образом не относится к языку Java, так как язык Java был разработан фирмой SUN, а JavaScript – компанией Netscape Communication Corporation.

Изначально JavaScript назывался LiveScript, однако после получения признания языка от множества программистов, язык решили переименовать в JavaScript.

Одна из важнейших особенностей языка JavaScript – это объектная ориентированность. Программистам доступно огромное количество объектов, таких, как формы, фреймы, гиперссылки, и т.д. Объекты характеризуются свойствами и методами [1, 2].

В основном JavaScript активно применяется не только во front-end, но и в back-end разработке. На JavaScript разрабатываются приложения, исполняющиеся не только на стороне клиента, но и на серверной стороне. Это стало возможно благодаря node.js. Node.js является платформой с открытым исходным кодом, основанная на движке V8, позволяющая писать серверную часть веб-приложения, а также программ командной строки. Вся интерактивность на сайте (например: всплывающее меню), обычно обеспечивается кодом, написанным на JavaScript.

JavaScript высокоуровневый язык программирования, позволяющий разработчику создавать интерфейсы, которые будут обрабатываться асинхронно.

Для разработки на JavaScript существует огромное количество разнообразных фреймворков и библиотек. Фреймворк – это библиотека программирования, в которой есть уже написанный код (каркас), упрощающий разработку стандартных функции и задач [3, 4].

Также фреймворки часто дополняют и расширяют функционал языка. Нужно просто дописать для этого каркаса дополнительные функции, подогнав под свой проект. Библиотека – это набор готовых функций, классов и объектов. Библиотеки, в отличие от фреймворков, не дают почти готовое приложение, но дают конкретные инструменты, с помощью которых решать задачи становится намного проще.

Поскольку JavaScript является одним из самых популярных языков программирования на данный момент, существует огромное количество информации и официальной документации по различным технологиям связанными с web-разработкой. Для разработки на языке JavaScript существуют фреймворки для создания приложений

(React.js, Angular.js, Vue.js, Node.js, Gatsby.js, Next.js), а также сборщики, такие как Webpack, Gulp.

Области применения JavaScript не ограничиваются браузерами и веб-приложениями. На этом языке, например, можно разрабатывать приложения для мобильных устройств. К примеру, при помощи фреймворка React Native создаются приложения для Android и iOS. Также можно разрабатывать и серверные приложения. Основным фреймворком для back-end разработки является Node.js. Так же с помощью JS мы можем написать какую-то браузерную игру, взяв сам язык, HTML5, какую-то готовую библиотеку (допустим PixiJS). Еще JS позволяет разработчику создать какое-то расширение для браузера, использующиеся многими людьми повседневно. К примеру, вашей активности на сайтах, который отследит время проведения на том или ином сайте. Стоит сказать, что язык не стоит на месте, и с каждым годом охватывает все больше сфер программирования.

Наиболее интересной является функциональность, созданная в дополнение к основной функциональности JavaScript. Так называемый API (Application Programming) – это совокупность инструментов и функций для создания новых web-приложений, благодаря которым программы будут взаимодействовать между собой. Это сделанные другими разработчиками сервисы, которые позволяют нам реализовывать web-приложения, которые в противном случае было бы трудно или невозможно реализовать.

## Литература

1. Современный учебник JavaScript [Электронный ресурс] // И. Кантор: электрон. версия газ. – URL: <https://learn.javascript.ru>. – Дата доступа: 22.03.2022.
2. You Don't Know JS [Электронный ресурс] / К. Simpson: электрон. версия газ. – URL: <https://github.com/azat-io/you-dont-know-js-ru>. – Дата доступа: 22.03.2022.
3. Resources for Developers [Электронный ресурс] // электрон. версия газ. – 2022. – 22 марта. – URL: <https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/JavaScript>. – Дата доступа: 22.03.2022.
4. Flanagan, D. JavaScript The Definitive Guide / D. Flanagan, 2011. – O'Reilly Media. 6th edition. – 1096 p.

**А. С. Пимошенко**  
(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)  
Науч. рук. **К. С. Курочка**, канд. техн. наук, доцент

## **ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА СОЗДАНИЯ МОЗАИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-ПРИНТЕРА НА ОСНОВЕ БИНАРИЗОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Мозаика – способ создания изображения или декорирования поверхности путем прикрепления к поверхности, являющейся основой, кусочков материалов, которые могут различаться по цвету, текстуре и фактуре. Как правило, мозаика создается по заготовленному эскизу.

Создание эскиза и поиск материала для последующего создания мозаики занимает большое количество времени. Однако, этот процесс можно ускорить, используя соответствующие программные средства. Также эскиз должен быть подходящим для создания мозаики, для этого необходимо использовать бинаризованные изображения, которые могут состоять из двух и более доступных цветов. Далее материалом для мозаики может выступать пластик, из которого легко создать элементы мозаики с использованием 3D-принтера.

Существует большое количество способов бинаризации изображения. Наиболее часто используются такие методы как глобальный фиксированный порог и локальный адаптивный порог.

Суть метода глобального фиксированного порога заключается в преобразовании всего изображения в двоичную форму с единым порогом.

Локальный адаптивный порог предназначен для определения порога бинаризации в месте расположения пикселя в соответствии с распределением значений в соседних блоках пикселя. Главной особенностью и преимуществом данного метода является то, что в каждом местоположении пикселя порог бинаризации не фиксируется, а определяется в зависимости от пикселей, находящихся рядом. В области изображения с более высокой яркостью порог бинаризации выше, чем в области с более низкой яркостью, соответственно порог бинаризации в этой области будет меньше. Области изображения с разными характеристиками, такие как яркость, текстура и контрастность будут иметь свои соответствующие пороги.

В процессе бинаризации можно задать размер элементов мозаики, задать цвета элементов, в соответствии с которыми будет изменено изображение.

На основе бинаризованного изображения создается эскиз для мозаики. Следующим этапом является создание элементов мозаики.

3D-печать широко используется в настоящее время. Данная технология отличается простотой использования, что сокращает время, отведенное на создание мозаики.

Для создания элементов мозаики с помощью 3D-принтера необходимо подготовить файлы с расширением *.stl*, которые будут являться элементами мозаики. Данный формат файла используется для хранения трехмерных моделей, которыми будут являться кубики. Информация об объекте в таком файле хранится в виде набора координат, которые образуют треугольники, которые в свою очередь являются гранями трехмерного объекта. Эскиз делится на составные части, схожие по признакам, например, по цвету, а далее программное средство преобразует их в материал для мозаики с соответствующим форматом, готовый для печати.

Программное средство для создания мозаики на основе бинаризованных изображений с использованием 3D-принтера обладает таким функционалом как бинаризация изображения, создание мозаики на основе преобразованного изображения, подготовка материала мозаики для печати на 3D-принтер в виде файлов с расширением *.stl*. Наличие такого широкого функционала является преимуществом, так как использование программного средства позволяет сократить время на решение поставленной задачи, не затрачивая его на поиск способов решения каждой составляющей задачи.

**Г. Д. Писарев**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Г. Ю. Тюменков**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **SPRING: ФРЕЙМВОРК ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАЗРАБОТКИ ENTERPRISE ПРИЛОЖЕНИЙ**

Spring даёт возможность решать многие задачи, с которыми сталкиваются Java-разработчики при создании информационной системы. Главной его частью является реализация архитектурного паттерна Inversion of Control (IoC), который предлагает средства конфигурации и управления Java объектами через рефлексию (Reflection). Но это далеко не последнее преимущество данного фреймворка [1].

Spring Framework может быть множество других фреймворков (фреймворк во фреймворке). Также их можно назвать модулями. В состав Spring входят 7 таких модулей: IoC-контейнер, модуль аспектно-ориентированного программирования, модуль доступа к данным, MVC, модуль управления транзакциями, модуль аутентификации и авторизации, тестирование. Разберём каждый из них:

1. Как было сказано ранее, IoC-контейнер служит для конфигурации объектов и управления Java объектами. IoC-контейнер представляет собой контекст (ApplicationContext), который хранит и управляет Java объектами (бинами).

2. Модуль аспектно-ориентированного программирования представлен как Spring AOP. Его идея заключается в выделении так называемой сквозной функциональности.



Рисунок 1 – До внедрения сквозной функциональности



Рисунок 2 – После внедрения сквозной функциональности

3. Модуль доступа к данным – это Spring Data. Он обеспечивает доступ к реляционным и нереляционным базам данных, а также взаимодействие с ними.

4. Spring MVC – это модуль, который реализует паттерн MVC (Model – View – Controller).

5. Модуль управления транзакциями позволяет правильно работать с транзакциями при работе с базами данных. Транзакция – это группа операций, которые представляют собой логическую единицу работы с данными.

6. Spring Security – модуль для аутентификации и авторизации пользователей. Основная его идея – безопасность пользователей, которые пользуются приложением.

7. Модуль тестирования предназначен для тестирования различных компонентов приложения. Это необходимо для обеспечения правильности работы всего приложения.

## Литература

1. Craig, W. Spring in Action / W. Craig // Manning Publications. – 2011. – С. 20–328.

**Д. С. Подшиваленко**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ПО ПОИСКУ ПОТЕРЯННЫХ ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ

Домашние животные теряются достаточно часто. Его владелец желает как можно быстрее найти потерянное животное. Разработанное приложение помогает найти утерянное животное как можно скорее, ведь в нем можно указать место, время, тип, пол, кличку, фотографию животного и т.д. Кроме того, другие пользователи приложения могут помочь в поисках потерянного животного, разместив объявление о его находке.

Ниже описывается схема пользования приложением.

При запуске приложения пользователю открывается первая страница приложения. На данной странице располагается лента объявлений о пропавших домашних животных. Объявление содержит краткую информацию о животном.

На второй странице приложения располагаются объявления о поиске хозяев найденных животных.

На третьей вкладке меню находится форма для создания объявления, на которой можно указать вид животного, его пол, адрес потери, дополнительную информацию, если она присутствует, указать контакты для связи и оставить комментарий, а также добавить изображения животного.

При переходе на четвертую страницу пользователю открывается карта с ближайшими ветеринарными клиниками, если вдруг животное нуждается в помощи специалиста.

На последней вкладке располагается форма для входа в аккаунт, где вводится логин, пароль и производится регистрация.

Переход между вкладками приложения осуществляется с помощью навигационного меню расположенного в нижней части экрана приложения.

Дизайн приложения интуитивно понятен и удобен для любого пользователя.

В результате работы создано приложение о поиске потерянных домашних животных для смартфонов на операционной системе Android в среде разработки Android Studio с использованием языка программирования Java.

**И. О. Потеряев**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. И. Сукач**, канд. техн. наук, доцент

## **СПОСОБЫ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ САЙТОВ**

**Актуальность темы.** При разработке современных сайтов разработчику и пользователю нужно хранить данные в разных местах. Это могут быть данные различных объемов. В зависимости от объема и типа данных существует различные способы их хранения. В основном разработчики используют базы данных или файловые хранилища.

В статье даются некоторые рекомендации, позволяющие сориентировать начинающего разработчика сайта, в каких случаях лучше и быстрее использовать базы данных, а когда целесообразно использовать возможности браузера и хранить данные там.

**Использование базы данных.** Наверное, все понимают, что такое база данных и имеют хоть малейшее представление о ней. Но база данных веб-сайта – это немного другое. База данных для сайта – это

определенное место на сервере, где хранится различный контент веб-ресурса. Сайты состоят из HTML-страниц [1]. Раньше почти все сайты создавались на чистом HTML и CSS, что содействовало трудному использованию баз данных, а сейчас у разработчиков появился PHP, который даёт возможность разделить сайт на каркас и контент. Это позволяет хранить каркас сайта отдельно от контента и дает возможность пользователю быстрее и удобнее администрировать веб-ресурс. Теперь сайты разделены на две части: структура веб-сайта хранится в коде или же в специальных файлах, а контент располагается в базе данных. Отметим преимущества использования баз данных. Во-первых, система баз данных работает на языке запросов SQL, это помогает разработчикам в сортировке, нахождении нужной информации и т.д. Во-вторых, производится четкое структурирование логики. В-третьих, база данных проста в использовании и надёжна.

Когда веб-мастер работает непосредственно с контентом базы данных, то ему необходимо знать, что такое резервное копирование и почему оно необходимо. Резервные копии сайта и базы данных делаются обычно для того, чтобы «откатить» плохие или неудачные изменения в базе данных или на сайте, для восстановления после взлома или после сбоев [2].

**Использование локального хранилища.** Теперь рассмотрим еще один способ хранения, который предоставляет браузер. В основном этот способ применяется при создании сайта, но не всегда. Обычные пользователи почти не слышали о локальном хранилище, но разработчики часто его используют. И так, что же такое локальное хранилище или LocalStorage?

Локальное хранилище – это новая способность HTML’а, которая позволяет обрабатывать и хранить любую информацию в пользовательском браузере при помощи JavaScript’а [3]. При использовании LocalStorage’а данные из него не удаляются при перезагрузке страницы и отключении веб-ресурса. Теперь вопрос, что делать разработчику, если ему не нужно вечно хранить данные и он нуждается в освобождении памяти. Для этого добавили другой глобальный проект – sessionStorage. Он работает похожим образом, но данные не сохраняются при закрытии браузера. Пора поговорить про преимущества локального хранилища.

Во-первых, важным составляющим является то, что локальное хранилище полностью поддерживается JavaScript’ом и при созданиях статических сайтов оно позволит работать им без «бекенда».

Во-вторых, поскольку локальные хранилища часто используют при создании сайтов для хранения промежуточной информации, то LocalStorage располагает как минимум 5 Мб для данных, что является большой размерностью.

Как и все инструменты, локальное хранилище содержит некоторые недостатки [4]: оно может содержать только строки, следовательно, если работать с данными не как со строкой, то оно бесполезно; оно синхронно – это значит, что любые операции с хранилищем идут последовательно; имеется ограничение на объем хранимых данных. Некоторые из этих минусов не особо значительные, но встаёт вопрос о безопасности. LocalStorage небезопасен, потому что любой код на странице будет получать разрешение к хранилищу.

**Хранение комментариев при реализации сайта ресторана-доставки.** Важной составляющей частью работы при создании сайта ресторана-доставки «LA FLEUR DE SEL» [5] являлось создание блока с комментариями. Этот блок дает возможность пользователям оставлять отзывы или же просмотреть отзывы других клиентов. Для реализации поставленной цели было решено использовать язык JavaScript, который является одним из наиболее удобных инструментов для решения подобных задач, и хранилище браузера LocalStorage.

При создании блока с комментариями использовались предоставляемые формы от BootStrap'а и хранилище браузера, в котором было решено хранить комментарии. Браузер хранит данные в течение неограниченного количества времени, они сохраняются при закрытии браузера и выключения компьютера.

После подключения Js файла к странице сайта переменные comment-name были связаны с информацией в этой форме и comment-body, соответственно. После этого работа с комментариями продолжалась как с переменной типа Object, в которой было создано три поля: имя, комментарий и время. Использование языка JavaScript позволило реализовать функцию возвращения точного времени, которое включало следующую информацию: год, месяц, число, час, минуты, секунды. Всё это было реализовано через get методы. При этом имя, комментарий и время суммировались в одну переменную out и отображались на сайте со своими параметрами. Для хранения комментариев использовался LocalStorage. Хранение информации в этих объектах осуществляется в формате «ключ-значение». Ключ и значение – это всегда строки, с которыми ведется работа. Для хранения формы с комментариями в хранилище LocalStorage была реализована дополнительная функция.

**Заключение.** В заключении можно отметить, что рассмотренные оба способа хранения данных хороши по-своему. Веб-мастер должен знать, как их использовать и в каких случаях. Если нужно хранить данные, которые могут быть публичными или не занимают 5 Мб, то локальное хранилище будет хорошим решением. Во всех остальных случаях лучше использовать базы данных, у которых объём информации не ограничен и надёжно защищён.

## Литература

1. Глинников, М. Мир ПК: уроки Web – мастерства. Урок 3. Эскиз первой страницы. Работаем с HTML вручную / М. Глинников // Мир ПК. – 2003. – № 4. – 648 с.
2. Дакетт, Дж. Основы веб-программирования с использованием HTML, XHTML и CSS: пер. с англ. / Дж. Дакетт. – М : Эксмо, 2010. – 678 с.
3. Дакетт, Дж. JavaScript и JQuery: интерактивная веб-разработка: самый полный гид по созданию современных сайтов : пер. с англ. / Дж. Дакетт. – М. : Э, 2017. – 488 с.
4. Брезгунова, И. В. Основы веб-проектирования : учеб.-метод. пособие / И. В. Брезгунова, С. Н. Гринчук. – Минск : Респ. ин-т высш. шк., 2013. – 459 с.
5. Потеряев, И. О. Сайт ресторана: универсальный подход и оригинальные идеи / И. О. Потеряев // Творчество Молодых – 2021 : сб. науч. работ студентов и аспирантов УО «ГГУ им. Ф. Скорины» / М-во образования РБ, Гомельский гос. ун-т ГГУ им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2021. Ч. 1. – С. 248–251.

**А. М. Протченко**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. П. Кечко**, канд. физ.-мат. наук

## **ГОЛОСОВОЙ ПОМОЩНИК «SEVERITY» ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ФУНКЦИЯМИ КОМПЬЮТЕРА**

Голосовой помощник – программное обеспечение, позволяющее управлять мобильным устройством или компьютером посредством голосовых команд.

Разработка голосового ассистента проводилась с использованием языка программирования Python, который обладает огромным количеством встроенного функционала для решения разнообразных задач. Для удобства работы пользователя был реализован графический интерфейс. После запуска приложения пользователю рекомендуется ознакомиться с основными функциями, которыми обладает приложение.

Активация голосового помощника происходит с помощью меню или по нажатию заданных горячих клавиш. Далее пользователь может осуществлять голосовой ввод команд, определенных приложением. Все действия дублируются в окне приложения.

Распознавание речи и преобразование ее в текстовый формат происходит посредством модуля SpeechRecognizer, который на данный момент работает только с английским языком. Для описания доступных функций использовался конфигурационный файл формата YAML.

Для определения функционала приложения была проанализирована компьютерная активность друзей, знакомых и коллег, и отображены основные действия, которые чаще всего ими выполняются.

Голосовой помощник «Severity» имеет ряд возможностей для работы с файлами в программах PowerPoint, Word, Excel, Paint, Notepad (например, создание и сохранение документа, открытие существующего документа). Вся работа с операционной системой и ее элементами осуществляется с помощью модуля os языка программирования Python. Так же организована работа с браузером Google Chrome. Имеется возможность открытия заданных конфигурационным файлом сайтов. Для этих целей были выбраны самые распространенные ресурсы: youtube, google, yandex, netflix, yandex music. Имеется возможность открытия произвольного сайта.

**Р. И. Протченко**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. В. Андреев**, д-р физ.-мат. наук, профессор

## **НЕЙРОННЫЕ СЕТИ И ЯЗЫК ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON**

Идея нейронных сетей была позаимствована у природы, а точнее в качестве аналога использовалась нервная система животных и чело-

века. Нервная система состоит из большого количества достаточно простых элементов – нейронов. Каждый нейрон получает сигналы от тысяч других нейронов и передает обработанную информацию тысячам других нейронов по одному единственному выводу.

Но с точки зрения программирования, нейронная сеть – способ решения проблемы эффективного параллелизма. В нейронных сетях, обычно, содержатся нейроны и связи между ними. Созданная при помощи компьютера нейронная сеть, имеет несколько слоев. Однако, количество нейронов в них бывает различным. Первый слой называется входной (принимает определенную информацию), последний – выходной (дает конечный результат), все промежуточные – скрытые слои (обрабатывают информацию, полученную с предыдущих слоев или входного).

В современном мире, многие сложные задачи требуют аналитические вычисления подобных тем, что делает человеческий мозг. Нейронные сети помогают нам в решении такого типа задач.

Основное применение нейронных сетей является:

**Классификация** – разбиение данных по параметрам. Например, на вход дается набор людей и нужно решить, кому из них давать кредит, а кому нет. Начальными данными будут люди и нужно решить, кому из них отказать в выдаче кредита, а кому его предоставить. Эту задачу может решить нейронная сеть, благодаря анализу определенных параметров: кредитная история, платежеспособность, кредитная история, возраст и т. д.

**Предсказание** – способность прогнозировать следующий шаг. Например, падение или рост цен на бензин, основываясь на конъюнктуры рынка нефтепродуктов в сопредельных государствах.

**Распознавание** – на данный момент, это самое распространённое применение нейронных сетей. Например: определение через камеру расположения лица, распознавание текста текста.

Наиболее распространенным языком программирования для искусственных нейросетей является Python [1, 2]. Из всех известных языков программирования, Python, для создания искусственных нейросетей, был выбран по ряду причин:

**Исследовательские проекты.** Исследовательскими проектами являются большое количество готовых примеров нейронных сетей на Python. Ученые, работающие над проектами, не владеют навыками программиста. Этот язык имеет низкий порог входа: на данный момент, никто не осуществляет написание нейронных сетей на Python с самого нуля, потому что это тратит много времени и сил. Имеются

библиотеки для нейронных сетей Python, которые уже составили профессионалы.

**Лаконичность и интероперабельность.** Язык Python обладает возможностью составлять сложные алгоритмы за короткий срок. Его особенности – это простота, лаконичность и выразительность. Помимо этого, он обладает мощным механизмом интероперабельности с C/C++, что дает возможность осуществлять быстрые вычисления. Можно заметить, что, на языке Python есть возможность создавать простые и сложные нейронные сети на Python.

**Гибкость.** Нейронные сети, по большей своей части, небольшие программы, но при этом есть потребность часто вносить изменения в них, подбирая наилучшую предобработку данных, архитектуру и другие параметры. Формирование и построение нейронных сетей на Python – вариант, удовлетворяющий этим требованиям лучше, чем использование C++ или Java.

В своей работе с помощью нейронных сетей, составлю программу по нахождению теста на картинке и распознаванию его. Для этого, проще говоря, нужно выполнить определённые действия: установка нужных библиотек (например: `opencv`, `easyocr`, `imutils`, `matplotlib`, `numpy`, `pandas`), оптимизировать изображение, нахождение контуров, вырезать нужный контур, чтение текста с вырезанного контура, вывод результата на экран.

Я выбрал эту тему, потому что у искусственных нейронных сетей есть перспективы в будущем, а также у них есть возможность самообучаться, а также способность отсеивать лишний шум. Однако нейросетевые технологии не должны рассматриваться как универсальное средство решения всех интеллектуальных задач. Их применение оправдано в тех областях, в которых существует значительное число однотипных примеров, отражающих скрытые взаимосвязи. Нейронные сетевые технологии предназначены для решения плохо формализованных задач. Такие технологии применяются для распознавания тех или иных предметов или событий. Благодаря им можно воспроизвести значительное количество связей между множеством объектов. Большое отличие искусственных нейронных сетей от обычных программных систем, заключается в том, что они не запрашивают программирования. Они сами настраиваются, т.е. обучаются тому, что требуется пользователю.

## Литература

1. Нейронные сети на Python: как все устроено [Электронный ресурс] / Редакция сайта GeekBrains: электрон. версия газ. – URL: <https://gb.ru/blog/nejronnye-seti-python/>. – Дата доступа: 2.04.2022.
2. Нейронные сети для начинающих [Электронный ресурс] / Арнис@Arnis71. – URL: <https://habr.com/ru/post/312450/> – Дата доступа: 2.04.2022.

**Д. Ю. Пуцьков**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. Н. Кулинченко**, ст. преподаватель

### **ПРИНЦИП РАБОТЫ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ПО ОТОБРАЖЕНИЮ WI-FI СЕТИ**

Веб-приложение разработано для университета или других объектов, которым нужна безопасная Wi-Fi сеть. Приложение способно отображать Wi-Fi сеть на чертеже плана этажа, определять опасные зоны и защитить Wi-Fi сеть. Опасная зона – это зона Wi-Fi сети, которая выходит за пределы плана выбранного этажа. Безопасной сетью считается та сеть, которая не выходит за пределы этажа.

Веб-приложение состоит из трех частей: front-end, back-end и база данных. Все эти компоненты взаимодействуют между собой. Для взаимодействия между front-end и back-end используется протокол HTTP. Для взаимодействия между back-end и базой данных используется специальный фреймворк Gorm.

Расчет дальности Wi-Fi сигнала происходит на back-end уровне. Изначально сервер принимает запрос в виде JSON с front-end уровнем. В этот запрос входят координаты роутеров, которые указал пользователь, а также план этажа. После чего происходит расчет дальности Wi-Fi сигнала. Для расчета используются формулы:

1.  $FSL = 33 + 20 (\lg F + \lg D)$ .
2.  $Y = Pt + Gt + Gr - Pmin - Lt - Lr$ .
3.  $FSL = Y - SOM$ .

После расчета дальности Wi-Fi сигнала происходит отрисовка полученного результата на плане этажа пользователя. Для отрисовки используется восемь цветов, от зеленого, который обозначает, что в этой области наилучший Wi-Fi сигнал, до красного, где сигнал

наихудший. Также при отрисовке учитываются координаты роутера, а также конечные координаты, до каких пор будет распространяться сигнал, и анализируется изображение для поиска стен, между двумя точками. Из-за стен происходит затухание сигнала. Тип стены также важен, так как это прямо влияет на коэффициент затухания сигнала. После того, как отрисовка готова, она отправляется назад пользователю.

**Д. Ю. Путьков**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. Н. Кулинченко**, ст. преподаватель

## **ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ПО КОНТРОЛЮ ФОРМЫ ПЕРИМЕТРА WI-FI СЕТИ С ДРУГИМИ ПРИЛОЖЕНИЯМИ**

Благодаря веб-приложению по контролю формы периметра беспроводной сети можно определить границы заданной Wi-Fi сети. После того как пользователь загрузил схему плана этажа в веб-приложение и указал все данные о роутере, пользователь получит всю информацию о зоне покрытия Wi-Fi на его плане этажа. Далее пользователь увидит 8 многоугольников разного цвета, где посередине будет находиться один из роутеров пользователя. Каждый из многоугольников обозначает качество сигнала определенной точки доступа. Чем дальше сигнал от роутера, тем хуже будет этот же сигнал. Так же количество препятствий, например стен, влияет на сам сигнал. Чем их больше, тем слабее будет становиться этот сигнал.

Для того, чтобы понять, является ли наш результат правильным, было сделано сравнение с другими программами по отображению Wi-Fi сети. В ходе проведения данного тестирования были задействованы следующие программы:

1. EkaHau HeatMapper.
2. NetSpot.
3. Acrylic Wi-Fi Heatmaps features.

Для начало было проведено сравнение полученных результатов с EkaHau HeatMapper. Два результата полученные из нашего веб-приложения и с EkaHau HeatMapper были примерно одинаковые. Разницу между результатами можно списать на погрешность.

Что касается приложения NetSpot, то результаты немного отличались. Как было выяснено потом, NetSpot достаточно некорректно отображает сигнал после прохождения препятствия, например стены. Поэтому полученные результаты были различные.

Конечное тестирование было проведено с Acrylic Wi-Fi Heatmaps features. Результаты, полученные из двух приложений, совпали.

Подводя итоги, можно сказать, что веб-приложение по контролю формы периметра беспроводной сети Wi-Fi работает корректно.

**В. В. Расторгуев**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. Н. Купо**, канд. техн. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА ВЫСОКОНАГРУЖЕННОЙ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ СЕРВИСА ОНЛАЙН-ШКОЛЫ**

В данной разработке были использованы программы планирования задач и командной разработки проекта. WebStorm – это интегрированная среда для разработки на JavaScript и связанных с ним технологиях. Как и другие IDE JetBrains, WebStorm позволяет автоматизировать работу.

Разработка приложения или его компонента для коммерческого проекта требует хорошего понимания архитектуры разрабатываемого приложения, принципов работы и особенностей языка разработки. Во время работы над проектом были использованы технологии: HTML5, CSS3 (для стилизации сайта), JavaScript, а также фреймворк для создания эффективных масштабируемых Node.js – NestJS.

Были использованы техники оренарі для генерации контроллера для клиента. Это позволило ускорить разработку и упростить создание сервисов для продуктовых команд, а также позволило интегрировать валидацию, документацию и типы языка TypeScript.

Паттерн «микросервисы» обязывал сделать сервисы независимыми с понятным переиспользуемым API.

Разработанное приложение ещё не вышло в релиз, но уже было презентовано нескольким продуктовым командам, которые согласились базировать разработку своих проектов основываясь на нём.

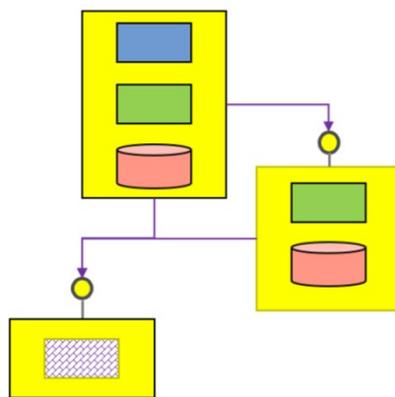


Рисунок 1 – Схема организации паттерна микросервисы

**Д. С. Рыбалкин**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **М. А. Подалов**, ст. преподаватель

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА AVR С ДАТЧИКОМ ГАЗА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ В ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ**

В нынешнее время всё больше люди думают о своей безопасности и безопасности своих помещений. Потому что сейчас у каждого в доме есть газовая плита или другой иной прибор, работающий от газа. И мы каждый день подвергаемся опасности. Поэтому нам на помощь приходит электронные системы безопасности ЭСБ [1].

Современные ЭСБ представляют собой аппаратные и программные системы, которые работают совместно для идентификации угрозы, обработки запрограммированных сигналов об угрозе и реагирования на угрозу с целью ее устранения или уменьшения ущерба для жизни человека.

Специфика современных ЭСБ является то, что они содержат компьютерные подсистемы или программируемые микропроцессорные устройства в дополнение к традиционным электротехническим компонентам, таким как датчики и исполнительные механизмы.

В данном проекте используется датчик обнаружения угарного газа Bradex [2]. Он не требует подключения к электросети и быстро оповещает пользователя об опасности отравления. Особенности датчика: оборудован экраном, на котором отображается концентрация угарно-

го газа в воздухе. Так же он имеет высокий уровень чувствительности (50-300 ppm) оснащен громкой звуковой сиреной (85 дБ) работает от 3 батарейных элементов формата АА на 1,5V и оповещает звуковым сигналом об их низком заряде. Быстро крепится к любой ровной поверхности. С характеристиками датчика можно ознакомиться в таблице 1.

Таблица 1 – Датчик угарного газа Bradex

Наименование параметра	Значение параметра
Тип определяемого газа	угарный газ
Тип сигнализатора	акустический (звуковой)
Диаметр	100 мм
Глубина	30 мм

Для этого датчика угарного газа Bradex, будет запрограммирован микроконтроллер AVR Atmega 16 [3, 4]. При обнаружении датчиком угарного газа, он будет подавать громкий звуковой сигнал тревоги, после чего, сигнал будет передан микроконтроллеру AVR Atmega 16, и в следствии этого моментально перекроется весь поступаемый газ в комнату, в которой сработал датчик, закрытием вентиля.

## Литература

1. ЭСБ [Электронный ресурс] // Официальный сайт УО «БГУИР». – URL: <https://www.bsuir.by/ru/kaf-piks/elektronnye-sistemy-bezopasnosti>. – Дата доступа: 23.03.2022.
2. Детектор газа BradexTD 0369 [Электронный ресурс] // Маркетинговая платформа ООО «Яндекс». – URL: <https://market.yandex.ru/product--detektor-gaza-bradex-td-0369/877356712/spec?lr=213&track=tabs&spa=1> – Дата доступа: 23.03.2022.
3. Atmega16 datasheet [Электронный ресурс] // ООО компания «Электроника и связь» – URL: <https://eandc.ru/pdf/mikroskhema/atmega16.pdf>. – Дата доступа: 23.03.2022.
4. Микроконтроллер AVR [Электронный ресурс]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/AVR#Описание\\_архитектуры](https://ru.wikipedia.org/wiki/AVR#Описание_архитектуры) – Дата доступа: 23.03.2022.

**Д. В. Самусенко**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)  
Науч. рук. **Е. И. Сукач**, канд. техн. наук, доцент

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОДВИЖЕНИЯ САЙТА-ПОРТФОЛИО

**Актуальность темы.** В современном мире очень много талантливых людей. Для того, чтобы тебя заметили одного умения недостаточно. Необходимо правильно показать себя и свои работы. В этом может помочь портфолио. Для его продвижения существует множество способов, которые и будут описаны в данной статье.

**Онлайн-карты.** Данный вариант продвижения поможет тем, кого потенциальные клиенты ищут по местоположению. С указанием на сайте отметки на карте формируется доверие потенциальных клиентов и сообщается дополнительная полезная информация. Добавив информацию о своем местоположении на картах Google и Яндекс, следует уделить внимание не только основным, но и дополнительным полям, так как это поможет потенциальным клиентам быстро найти местоположение и информацию о вашем сайте. Есть возможность отследить эффективность карт: посмотреть, каким образом потенциальные клиенты взаимодействовали с вашими карточками. Также в Яндекс картах есть тепловая карта (рисунок 1), которая отображает те места, где чаще всего ищут вашу компанию или похожие услуги. Эти данные можно использовать для таргетинга, о котором будет рассказано далее.

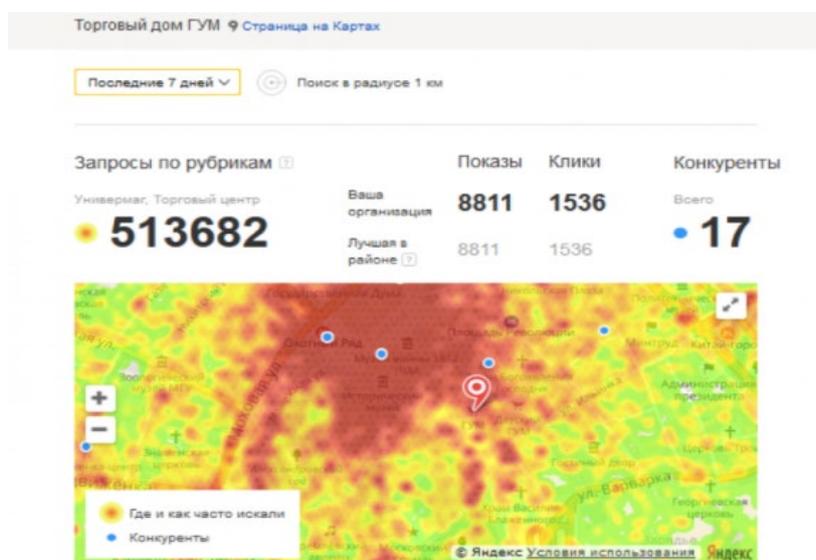


Рисунок 1 – Тепловая карта

**Гиперлокальный таргетинг.** Показывать рекламу можно не только для одного города или региона, есть возможность сузить цель до района или даже одного дома. Для этого существуют инструменты гиперлокального таргетинга, которые помогут найти потенциальных клиентов по их месту жительства или работы. Данный вид продвижения сайта доступен при настройке рекламы во «ВКонтакте», myTarget, facebook.

**Гиперлокальная СМС-рассылка.** Еще один хороший вариант продвижения сайта. Некоторые операторы, например, МТС и Мегафон, позволяют отправлять СМС абонентам, которые находятся недалеко от конкретного района. В настройках кампании можно выбрать аудиторию по интересам, а за дополнительную плату разослать сообщения посетителям сайта. Есть возможность загрузить конкретные номера – их добавят либо уберут из списка получателей сообщений. В сообщениях лучше предлагать акции и скидки на услуги, указывать ссылку на сайт, тексты желательно делать как можно короче – это повысит эффективность рассылки. Выбирая время рассылки, следует учитывать особенности аудитории. Отправлять СМС ночью не стоит, так как это будет неэффективно.

**SEO-оптимизация.** Самый простой и эффективный способ – SEO (search engine optimization)-оптимизация. SEO направлена на улучшение позиции сайта в поисковых системах и увеличение количества потенциальных клиентов. Хорошо продуманный сайт с детально прописанной полезной информацией улучшит позиции в системах, подняв портфолио в ТОП. Поэтому контент пишется под поисковые запросы. Собранный на сайте информация с ключевиками, текстом, картинками и примерами работ, продемонстрирует профессионализм и поможет превратить потенциальных заказчиков в реальных клиентов. Написание подробных и интересных кейсов привлекает множество клиентов. Поэтому необходимо следить за статистикой, чтобы понимать, какие поисковые запросы и статьи помогут «выстрелить». Также необходимо постоянно обновлять портфолио полезной информацией и свежими работами, которые будут интересны потенциальным заказчикам.

**Отзывы в организации сайта-портфолио.** Кроме вышеперечисленных способов на повышение рейтинга и продвижение сайта влияют отзывы. Множество опросов и исследований подтверждают, что ежедневно миллионы пользователей интернета ищут в сети отзывы на тот или иной вид услуг. Поэтому полезным будет добавление

блока отзывов на сайт, что принесет немало полезного: повышение лояльности со стороны посетителей; рост уровня доверия по сравнению с конкурентами, у которых нет отзывов; аргументы для тех, кто остается в сомнении; улучшение работы поисковых систем; улучшение репутации сайта.

Такие сервисы, как Zoon, Tripadvisor и Отзовик, собирают отзывы, при заполнении карточек компании. В карточке можно указать: контакты; тип организации; ссылки на социальные сети; перечень услуг и прайс лист на них; акции и специальные предложения; фотографии; описание и пример выполненных работ.

Отзывы также положительно влияют на SEO-оптимизацию, которая был описана выше. Ведь каждый отзыв уникален. Поисковые системы берут во внимание такие сайты и продвигают его в верхние строки поисковой выдачи, что в свою очередь улучшает общий рейтинг сайта в поиске.

Отзывы нужно не только собирать, но и отслеживать. Это можно делать самостоятельно либо же воспользоваться специальными сервисами, которые автоматически собирают все отзывы, например, YouScan. С их помощью легче отследить и обработать обратную связь.

С учетом отмеченных плюсов организации обратной связи был разработан сайт-портфолио программиста, важной составляющей которого стало создание блока с отзывами и комментариями. Этот блок дает пользователям возможность оставить комментарии о работе или же прочесть отзывы клиентов (рисунок 2). Для решения поставленной задачи использовался язык JavaScript, который является один из самых популярных и удобных способов для реализации данного типа задач.

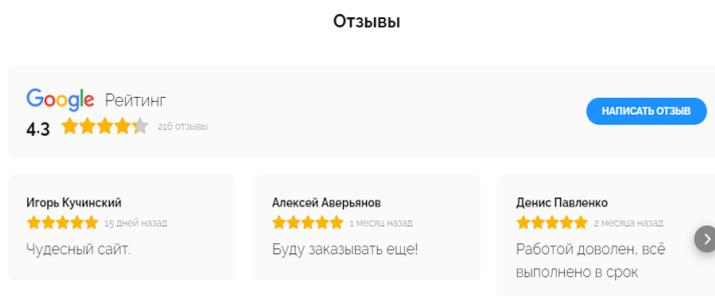


Рисунок 2 – Блок с отзывами

**Заключение.** Подводя итоги, можно отметить, что каждый из рассмотренных способов продвижения сайта имеет свои плюсы. Разра-

ботчик должен сам выбрать, какой способ поможет лучше продвинуть сайт. Для популярности сайта-портфолио подойдут отзывы, геолокация и, конечно же, правильно составленная информация о работах, представленных на сайте.

**И. П. Свяцкий**

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **И. Л. Стефановский**, ст. преподаватель

## **ИНТЕРАКТИВНЫЙ ГИД ПО ДОСТОПРИМЕЧАТЕЛЬНОСТЯМ ГОРОДА ГОМЕЛЯ НА ПЛАТФОРМЕ ANDROID**

На сегодня рынок развлечений является одним из самых популярных. С момента начала информационно-технической революции мир стремительно движется в будущее, создавая все более совершенные мобильные системы, которые облегчают жизнь людям, а также занимают и развлекают их в свободное время.

С ростом роли смартфонов в жизни человека, мобильные технологии влияют на характер нашего поведения. Мобильные развлечения делают жизнь человека насыщеннее и увлекательней. Как следствие, на сегодняшний день индустрия android-приложений занимает лидирующие позиции на рынке развлечений, опережая кино и музыкальную индустрию. Поэтому в рамках работы планируется разработать приложение-гид по достопримечательностям города Гомеля на платформе Android.

Данное приложение может выступать в роли мобильного путеводителя с картами и удобным каталогом достопримечательностей города Гомеля, в котором легко найти интересные места и узнать о них полезную информацию. Приложение будет использовать карты с навигацией, каталог достопримечательностей с фотографиями, обзорный рассказ о городе и некоторые экскурсии.

Разработать функционал программы планируется в виде мобильного приложения, которое подходит для работы на смартфонах с актуальной версией платформы Android. Решение обосновано тем, что большинство пользователей имеют на сегодняшний день одни из самых свежих версий системы Android на устройствах. То есть, в качестве целевой мобильной платформы, выступает Android.

Чтобы создать android-приложение существует несколько технологий, которые помогают в этом. Популярным средством для разра-

ботки является интегрированная среда разработки (IDE), в виду того, что в нем уже заложена определенная фундаментальная база для работы и создания игр. В качестве удобной и распространенной IDE является Android Studio.

Android Studio – интегрированная среда разработки производства Google, с помощью которой разработчикам становятся доступны инструменты для создания приложений на платформе Android. Android Studio создавалась на базе IDE IntelliJ IDEA. В среде есть такие языки программирования, как Java, Kotlin, C++.

Kotlin – статически типизированный, объектно-ориентированный язык программирования для разработки мобильных приложений. Язык является более лаконичным и типобезопасный, чем Java, и более простым.

Чтобы правильно и рационально расширить функциональные возможности приложения применяются шаблоны проектирования: «MVP». Паттерн MVP (Model-View-Presenter) позволяет отделить логику приложения от визуальной части (представления). Он является архитектурным, то есть он задает общую архитектуру приложения.

Выделяются определённые участники шаблона, MVP состоит из трех компонентов: модели (Model), уровня представления (View) и прослойкой (Presenter).

Model – уровень данных, который общается с базой данных и сетью. View – уровень отображения. Это будет Activity, Fragment или Custom View. Presenter – прослойка между View и Model. View передает происходящие события, а Presenter обрабатывает их, при необходимости обращается к Model и возвращает View данные на отрисовку.

Применительно к Android есть еще одна важная часть – Contract. Это интерфейс, который описывает все взаимодействия между вышеперечисленными компонентами.

**А. В. Семененко, Е. А. Левчук**  
(БГУ, Минск)

Науч. рук. **Е. А. Левчук**, канд. техн. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОТОТИПА ПРИЛОЖЕНИЯ**

По степени интерактивности виртуальную коммуникацию можно разделить на синхронную и асинхронную. При синхронной коммуни-

кации взаимодействие происходит в режиме реального времени. Асинхронная предполагает возможность получить ответ с задержкой по времени. Обе формы виртуального общения имеют право на существование и выполняют свои специфические функции, однако, смотря на современную жизнь, можно сделать очевидный вывод, что увеличивается именно доля синхронной коммуникации, к которой относятся мессенджеры.

Объектом исследования является кроссплатформенный фреймворк React Native и использование его возможностей для создания мобильного приложения. React Native поддерживает такие платформы как Android, Android TV, iOS, macOS, Apple tvOS, Web, Windows и UWP, позволяя разработчикам использовать возможности библиотеки React вне браузера для создания мобильных приложений, имеющих полный доступ к системным API платформам [1].

Функциональные требования определяют поведение системы: отправку сообщений в личных беседах; отправку голосовых сообщений; создание групповых бесед; отправку изображений; online/offline статус; статус сообщений; ответы на сообщения.

Нефункциональные требования описывают характер поведения системы: простота в использовании для любого пользователя; интуитивно понятный интерфейс; удовлетворение потребностей пользователя.

В ходе проектирования были составлены диаграммы вариантов использования, которые описывают набор действий системы по сотрудничеству с одним или несколькими внешними пользователями системы (участниками). Каждый вариант использования должен обеспечивать некоторый конечный результат для участников или других заинтересованных сторон системы [2].

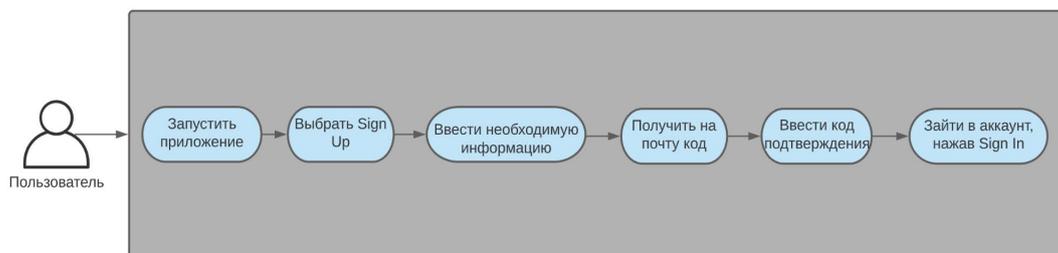


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования «Восстановление пароля»

Описывается поведение системы с точки зрения пользователя. В результате спроектированы диаграммы для входа, регистрации, написания сообщений, выхода, восстановления паролей (рисунок 1).

Для описания динамических аспектов системы были разработаны диаграммы действий, отражающие алгоритмы последовательности действий, происходящих в системе. Диаграммы позволяют определить, как поведет себя пользователь, поставив перед собой некоторую цель.

Ниже приведены примеры диаграммы деятельности для регистрации пользователя и отправки сообщений (рисунки 2 и 3).

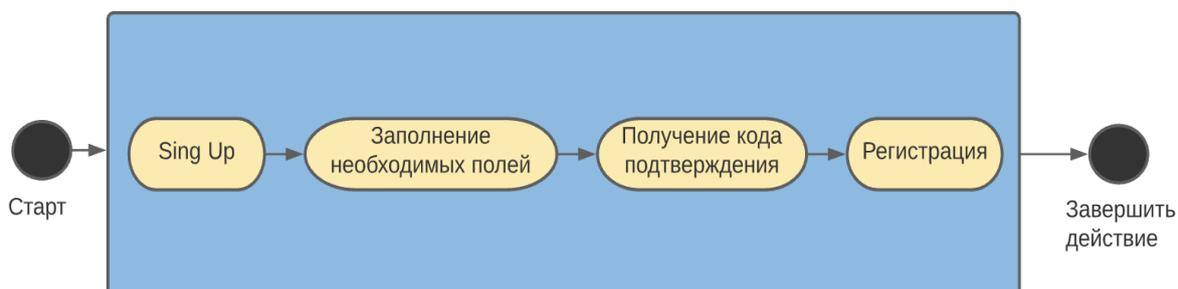


Рисунок 2 – Диаграмма деятельности «Регистрация»

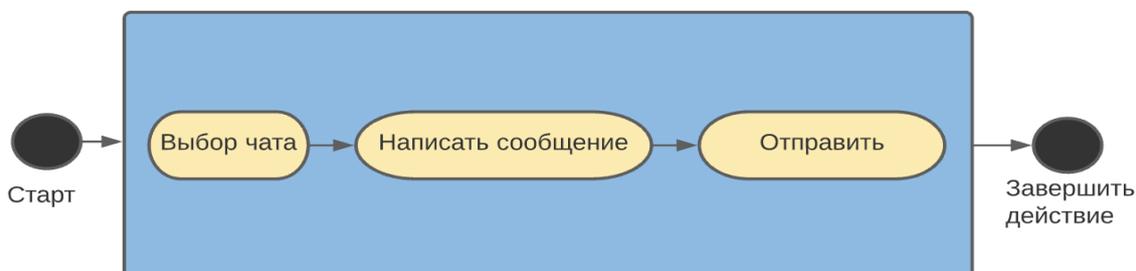


Рисунок 3 – Диаграмма деятельности «Отправка сообщения»

Приложение будет иметь 7 экранов: экран для входа, экран для регистрации, экран для получения кода подтверждения, экран сброса пароля, экран восстановления пароля, экран всех чатов и экран внутри конкретного чата. Примеры прототипов экрана представлены на рисунке 4.



Рисунок 4 – Прототипы экрана «Регистрация» и «Чат»

## Литература

1. Documentation for React Native [Electronic resource]. – URL: <https://reactnative.dev>. – Date of access: 29.01.2022.
2. Ларман, К. Применение UML 2.0 и шаблонов проектирования / К. Ларман. Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2016. – 736 с.

**Т. С. Семенченя**

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **К. С. Курочка**, канд. техн. наук, доцент

## **ПОИСК КТ-ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА ЧЕЛОВЕКА С ПРИЗНАКАМИ ДЕГЕНЕРАТИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ**

Патологические заболевания и травмы являются одними из наиболее часто встречающихся заболеваний поясничного отдела позвоночника человека. Число заболеваний элементов позвоночника у человека очень велико, и каждый случай носит индивидуальный характер, соответствующий тому или иному виду патологического изменения или травмы [1].

Одним из наиболее распространенных дегенеративным изменением поясничного отдела позвоночника человека является остеофит. Остеофиты – патологическое разрастание костной ткани или перерождение ткани связок, образующее заостренные шипы или наросты по краям сегментов позвоночника. Развитию патологии способствуют возрастные дегенеративные изменения, постоянные нагрузки, излишняя масса тела и малоподвижный образ жизни [2].

Одной из важнейших задач для обнаружения патологий позвоночника человека, является анализ КТ-изображений, а точнее – поиск КТ-изображений с признаками остеофита на теле позвонка (рисунок 1).



Рисунок 1 – КТ-изображение с признаками остеофита на теле позвонка

Для реализации поставленной задачи применялась свёрточная нейронная сеть класса YOLO, которая позволила классифицировать поданное на вход КТ-изображение поясничного отдела позвоночника человека [3]. Для обучения нейронной сети (100 эпох) использовался набор КТ-изображений позвоночника человека с признаками остеофита на теле позвонка. После обучения нейронной сети была протестирована ее работа на различных изображениях, которые не участвовали в этапе обучения. На рисунке 2 представлены данные о точности обучения нейронной сети.

Разработанный алгоритм поможет в дальнейшей локализации дегенеративных изменений поясничного отдела позвоночника человека на уже отобранных КТ-изображениях с признаками остеофита.

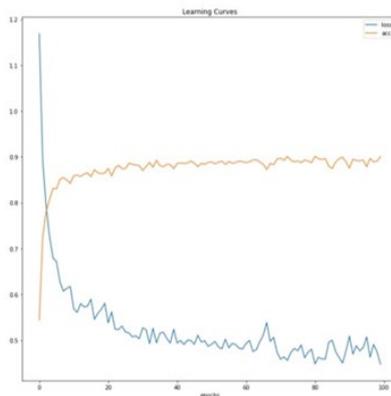


Рисунок 2 – Точность обучения нейронной сети

## Литература

1. Масалитина, Н. Н. Применение автоматизированного классификатора результатов компьютерной томографии для построения геометрической модели позвонка человека / Н. Н. Масалитина, К. С. Курочка // Доклады БГУИР. – 2017. – № 3(105). – С. 12 – 19.

2. Остеофиты позвоночника [Электронный ресурс] // Сеть клиник ЦМРТ. – URL: <https://mrtpetrograd.ru/stati/zabolevaniya/osteofityi-rozvonoch nika>. – Дата доступа: 20.03.2022.

3. Redmon, J. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection / J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick // Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2016. – p. 779 – 788.

**Д. А. Сидоренко**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. Н. Кулинченко**, ст. преподаватель

## СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА РЕМОНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Для бесперебойной работы технологического оборудования необходимо качественное своевременное обслуживание этого оборудования. Для минимизации простоев должны производиться регламентные работы. Технологическое оборудование, как и любой сложный объект, может выходить из строя в процессе эксплуатации. Для вос-

становления работоспособности производится комплекс мероприятий – ремонт оборудования.

Информационно-справочная составляющая организации мероприятий по ремонту должна обеспечить линейному ремонтному персоналу доступ к следующим данным:

- конструкторско-технологической документации;
- план-графику планово-предупредительных ремонтов;
- архиву ремонтных работ;

Для обеспечения доступа к этим данным разработана система учета. Система построена на основе клиент-серверной архитектуры. Серверная часть представляет собой хранилище данных на основе реляционной СУБД MySQL и веб-сервиса написанного на PHP.

Клиентская часть проектируется в виде одностраничного приложения SPA (single page application) – веб-приложение использующие единственный HTML документ как оболочку для всех веб-страниц и организующее взаимодействие с пользователем по средствам динамически подгружаемых данных.

Технологическая документация хранится в виде базы знаний (wiki) с возможностью постоянного пополнения ремонтным персоналом.

Разработанная система позволит улучшить качество обслуживания, сократить время простоя оборудования, а следовательно, и повысить эффективность производства.

**Д. И. Струков**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. В. Семченко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗЫ ДАННЫХ POSTGRESQL**

В современном мире перед компаниями при разработке полноценного веб- или десктоп-приложения остро стоит вопрос выбора системы управления базами данных. Существует большое количество таких систем.

Отличительными особенностями СУБД являются:

- быстродействие;
- удобство пользовательского интерфейса;
- модель представления данных;

- безопасность;
- взаимосвязь клиент-сервер.

При выборе той или иной системы управления базы данных, компании в итоге сталкиваются с различными масштабами полученных данных, которые нужно как-то обрабатывать, использовать, изменять, фильтровать. Поэтому таким компаниям необходимы следующие специалисты: архитектор баз данных, аналитик данных, бизнес-аналитик. Без них работа веб-приложения будет сильно замедлена, что возможно будет приводить к сбоям.

Определение бэкенд используется в разных сферах. В сфере радиотехники (BEOL) – это процесс создания слоев металлических соединений и изоляций. В сфере телепередач – комплект эпизодов, которые идут после пробных эпизодов.

Бэкенд или же серверная часть служит для работы между веб-приложением и базами данных. Серверная часть описывает все взаимодействия (редактирование, удаление, создание таблиц) базы данных, получение запросов с клиентской части, проверка правильности запросов и сохранение файлов на сервере.

**База данных** – набор сведений, хранящихся определенным способом.

**Модель представления данных** – это то, как данные в базе данных хранятся, и все способы взаимодействия с ними (создание, изменение, удаление, фильтрация данных).

**Система управления базами данных (СУБД)** – это программные средства, с помощью которых можно осуществить доступ к базе данных (создание, изменение, удаление базы данных)

Существуют следующие модели представления данных:

- ориентированная модель;
- реляционная модель;
- модель на основе графов.

Выбрана база данных PostgreSQL с реляционной моделью представления данных.

**Реляционная модель** – это набор данных с предопределенными связями между ними (рисунок 1).

Свойства реляционной модели:

- данные хранятся в виде таблиц, то есть набора записей одинаковой структуры;
- в одной таблице хранится несколько типов данных;
- данные нормализованы, то есть имеют много отношений «многие к одному».

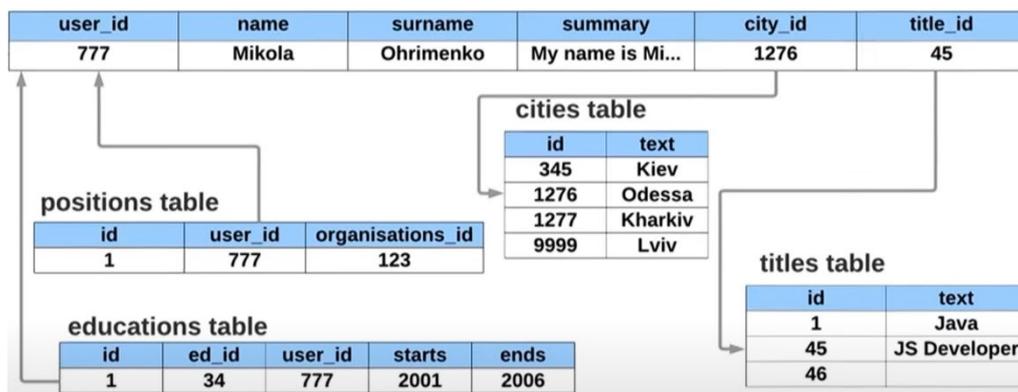


Рисунок 1 – Пример реляционной модели

**SQL (инструмент для выборки данных)** – это декларативный язык, который указывает на то, какие данные должны быть получены, как отфильтрованы, как сгруппированы и как отсортированы, но не указывает как это будет сделано.

**PostgreSQL** – это реляционная система управления базой данных (СУБД), имеющая широкие возможности и высокую производительность [1, 2]. К достоинствам данной СУБД относят:

- поддержка баз данных неограниченного размера;
- функциональность;
- наследование;
- легкая масштабируемость;
- использование JSON строк.

Многие начинающие компании используют PostgreSQL, так как каждая версия проверяется тщательно, проходя несколько месяцев тестирования. PostgreSQL имеет открытый код, что позволяет быстро исправлять ошибки благодаря пользователям.

Чтобы взаимодействовать с СУБД PostgreSQL требуется установить программу pgAdmin.

**PgAdmin** – это бесплатный инструмент администрирования графического интерфейса пользователя с открытым исходным кодом, требуется для работы с базами данных PostgreSQL [3].

Web-приложение разработано в среде программирования VSCode. Серверная часть разработана на языке программирования Node.js.

**Visual Studio Code (VSCode)** – бесплатный редактор кода, разработанный Microsoft.

**JavaScript** – это язык управления сценариями просмотра гипертекстовых страниц на стороне клиента [4]. Если быть более точным, то JavaScript – это не только язык программирования на стороне кли-

ента. Основная идея JavaScript состоит в возможности изменения значений атрибутов HTML-контейнеров и свойств среды отображения в процессе просмотра HTML-страницы пользователем. При этом перезагрузки страницы не происходит.

**Node.js** – программная платформа, превращающая JavaScript из узкоспециализированного языка в язык общего назначения. Node.js добавляет возможность JavaScript взаимодействовать с устройствами ввода-вывода через свой API, написанный на C++, подключать другие внешние библиотеки, написанные на разных языках, обеспечивая вызовы к ним из JavaScript-кода. Node.js применяется преимущественно на сервере, выполняя роль веб-сервера [5–9].

Чтобы приложение функционировало есть множество пакетов (модулей), разработанные программистами, которые упрощают написание кода. Данные модули можно установить через менеджер пакетов.

**NPM** – менеджер пакетов, который подключает библиотеку или фреймворк.

Web-приложение создано для тестового интернет-магазина. В магазине предусмотрена страница администрирования с функциями добавления, редактирования, удаление продукции. Из клиентской части (фронтенд) приложения поступает запрос (в зависимости от требуемой функции) на серверную часть (бэкенд). Запрос обрабатывается и в случае правильного заполнения данных декодируется в SQL-запрос, который понятен для базы данных. Данные с базы данных обновляются и обратным путем переходят для отображения на клиентскую часть. Данное решение упрощает администрировать сайт незнающему программирование человеку.

## Литература

1. Документация PostgreSQL [Электронный ресурс] / Copyright. – 2021. – URL: <https://postgresql.men/manual/index.html>. – Дата доступа: 02.11.2021.
2. Стоунз PostgreSQL. Основы / Стоунз, Мэттью Ричард; , Нейл. – М. : СПб : Символ-Плюс, 2002. – 640 с.
3. pgAdmin [Электронный ресурс]/ Copyright. – 2021. – URL: <https://info-comp.ru/how-to-create-database-in-postgresql>. – Дата доступа: 14.11.2021.
4. Дэвид Флэнаган, JavaScript. Карманный справочник (м) / Дэвид Флэнаган, 2015. – 344 с.

5. Руководство по NodeJS [Электронный ресурс] / Copyright. – 2021. – URL: <https://metanit.com/Web/nodejs/>. – Дата доступа: 01.12.2021.
6. Node.js в действии / Хартер Марк, Райлих Натан, Головайчук Т. : СПб : Ozon.ru, 2015. – 448 с.
7. Официальный сайт Node.JS [Электронный ресурс] / Copyright. – 2021. – URL: <https://nodejs.org/en/docs/>. – Дата доступа: 13.11.2021.
8. Сухов, К. К Node.js. Путеводитель по технологии. – 3-е изд. – М. : ДМК Пресс, 2017. – 430 с.
9. Пауэрс, Ш. Изучаем Node. Переходим на сторону сервера / Ш. Пауэрс. – СПб. : Питер, 2017. – 304 с.

**Е. А. Сухорукова**  
(ОмГТУ, Омск)

Науч. рук. **В. А. Ковалев**, д-р экон. наук, профессор

## **DATA MINING И АНАЛИЗ БОЛЬШИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ**

Новые задачи, стоящие перед высшей школой, ее непрерывное развитие предъявляют к учебному процессу возрастающие требования по части совершенствования его содержания, форм и методов. В современном ВУЗе нахождение новых решений и методов особенно актуально для повышения эффективности управления образовательными системами и обеспечения качества обучения. Для этого, с одной стороны, требуется использовать огромный объем накопленной информации, которую необходимо анализировать и систематизировать. С другой – большие данные (Big Data) дают возможность по-новому выстроить каждому обучающемуся свою индивидуальную образовательную траекторию, а также оценить качество обучения в образовательной организации и выбрать для себя приемлемый способ обучения [1–3].

В данном исследовании хотелось бы кратко показать, как аналитику больших данных и методы, основанные на поиске в данных скрытых закономерностей (Data Mining) можно использовать для раннего прогнозирования общей успеваемости студентов, что в конечном итоге, улучшит качество образовательного процесса.

Одним из важных направлений использования Data Mining в образовании является прогнозирование.

Прогнозирование – это технология, которая основана на анализе Big Data для прогнозирования будущих показателей с целью принятия оптимальных решений. Эта технология использует в своей основе статистические методы и методы интеллектуального анализа данных.

Для прогнозирования общего уровня успеваемости студентов применяется множество методов и алгоритмов Data Mining, а именно метод деревьев решений, метод k-ближайших соседей, байесовское моделирование и многие другие методы.

Метод деревьев решений является одним из наиболее популярных методов решения задач прогнозирования. Точность моделей, созданных при помощи деревьев решений, сопоставима с другими методами построения классификационных моделей (статистические методы, нейронные сети).

Суть этого метода состоит в том, что исходный набор данных постепенно делится на более мелкие подмножества. Эти подмножества основаны на значениях объясняющей переменной, выбранной в соответствии с критерием выбора атрибута, т. е. критерием, который определяет атрибут, который наилучшим образом разделяет данный набор данных объектов на отдельные классы. Для каждого подмножества создается дочерний узел, в который включаются данные подмножества. Затем процесс повторяется с данными дочерних узлов до тех пор, пока не будет удовлетворен критерий завершения. Дерево решений имеет древовидную структуру, где каждый узел является либо листом, который указывает значение класса, либо узлом принятия решения.

Следующий метрический алгоритм – метод k-ближайших соседей. Он относится к классу методов, работа которых основывается на хранении данных в памяти для сравнения с новыми элементами. При появлении новой записи для прогнозирования находятся отклонения между этой записью и подобными наборами данных, и наиболее подобная (или ближний сосед) идентифицируется.

Следующий из предлагаемых методов называется байесовская классификация. Он имеет ряд альтернативных названий: байесовское моделирование, байесовская статистика, метод байесовских сетей, наивный Байес.

Наивный Байес – это вероятностный алгоритм машинного обучения, основанный на применении теоремы Байеса и используемый в самых разных задачах классификации.

Наивный Байес является частью семейства простых вероятностных классификаторов, основанных на применении теоремы Байеса с сильными (наивными) предположениями о независимости между объясняющими переменными. Теорема Байеса описывает вероятность события, основанную на условиях, которые могут иметь отношение к этому событию. Поэтому, учитывая объект, подлежащий классификации, характеризуемый несколькими объясняющими переменными, Наивный Байес присваивает этому объекту вероятности для каждого из возможных классов.

Изначально байесовская классификация использовалась для формализации знаний экспертов в экспертных системах, сейчас байесовская классификация также применяется в качестве одного из методов Data Mining.

Байесовская классификация – достаточно прозрачный и понятный метод классификации. «Наивной» она называется потому, что исходит из предположения о взаимной независимости признаков.

Вышеперечисленные технологии вполне применимы в управлении образовательными системами, включая вопросы принятия решений обработки данных, финансовое планирование и мониторинг успеваемости учащихся. Большие данные позволяют сохранять опыт обучения, дают картину обучения каждого обучающегося.

При помощи технологий Data Mining, анализируя большие образовательные данные, можно разрабатывать индивидуальные траектории обучения и адаптировать процесс обучения для удовлетворения потребностей каждого обучающегося. Анализ данных позволит улучшить модель обучающегося, позволит исследователям получить подробную информацию о характеристиках обучаемого или его состояниях, таких, как знания, мотивация, изучить какие факторы влияют на повышение успеваемости, а какие мешает этому процессу.

Data Mining в образовательном процессе позволит управленческим кадрам и преподавателям ВУЗов своевременно получать информацию об обучающихся и оперативно реагировать на любые изменения процесса обучения, своевременно вносить изменения в учебный процесс. Мы ожидаем, что рассмотренные в этой статье технологии позволят усовершенствовать систему организации учебного процесса в Омском государственном техническом университете.

## Литература

1. Утёмов, В. В. Развитие образовательных систем на основе технологии Big Data / В. В. Утёмов, П. М. Горев // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2018. – № 6 (июнь). – С. 449–461.
2. Мамедова, Г. А. Технологии больших данных в электронном образовании / Г. А. Мамедова, Л. А. Зейналова, Р. Т. Меликова // Открытое образование. – 2017. – Т. 21, № 6. – С. 41–48.
3. Miguéis, V. L. Early segmentation of students according to their academic performance: A predictive modelling approach / V. L. Miguéis, Ana Freitas, Paulo Garcia, André Silva // Decision Support Systems. – 2018. – Vol.115. – P. 36–51.

**Д. С. Сычевой**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **М. И. Жадан**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО УЧЕТУ ЗАЯВОК В СЕРВИСНОМ ЦЕНТРЕ**

Современный рынок требует оперативности и точности в решении задач любой сложности. Автоматизация учёта заявок позволит сэкономить время и ресурсы, и в целом повысит продуктивность работы фирмы.

Автоматизированная информационная система была разработана в среде Embarcadero RAD Studio 10.4.2 [1] с использованием языка программирования Delphi, а также с использованием РСУБД MS SQL Server [2]. Microsoft SQL Server – это РСУБД (система управления реляционными базами данных), которая разработана специалистами из Microsoft. В качестве основного языка запросов используется Transact-SQL (совместная разработка Microsoft и Sybase). При этом Transact-SQL – это реализация стандарта ANSI/ISO по SQL (структурированному языку запросов), но имеющая некоторые расширения. Сегодня СУБД MS SQL широко применяется при работе с базами данных (БД) самых разных размеров, начиная от персональных, заканчивая крупными БД масштаба предприятия.

В автоматизированной информационной системе по учету заявок реализована возможность различного уровня доступа к данным: уро-

вень администратора и пользователя. Также имеется регистрация нового пользователя администратором с предоставлением полного доступа к функциональным возможностям программы.

Автоматизированная информационная система по учету заявок предоставляет возможность реализации следующих действий: добавление, удаление, корректировка данных; ведение справочников; организация поиска информации, по ключевым словам, во всех таблицах; организация фильтрации, сортировки; возможность экспорта данных таблиц в Excel-документ; формирование отчетов.

В результате была разработана программа, с учётом того, что работать с ней будут непрофессиональные пользователи ПЭВМ. Интерфейс данной программы является простым и доступным.

### **Литература**

1. Архангельский, А. Я. Программирование в Delphi : учеб. пособие / А. Я. Архангельский. – М. : ООО «Бином – Пресс», 2011. – 1152 с.
2. Станек, У. Р. Microsoft SQL Server 2012. Справочник администратора / У. Р. Станек. – М. : Русская Редакция, 2013. – 426 с.

**К. С. Тебенькова**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. П. Кечко**, канд. физ.-мат. наук

### **САЙТ КНИЖНОГО ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА**

Во все времена было популярно чтение книг. К сожалению, мода на печатные книги и их живое обсуждение, например, в книжных клубах, прошла. На смену пришли новые тенденции, навеянные развитием технологий: живые носители книг сменились на электронные, обсуждение прочитанного перешло в электронные отзывы на сайтах и специализированных форумах.

Разработанный сайт имеет возможность регистрироваться, просматривать книги из каталога, каждая из которых имеет собственную страничку с описанием ее основных характеристик и сюжета. Авторизованные пользователи имеют возможность оставлять комментарии и видеть комментарии других пользователей, а также совершать покупки, добавлять книги в раздел с избранным.

Информация о книгах, их авторах, обложках и всех комментариях хранится в базе данных. Для этих целей была выбрана MongoDB, которая имеет документо-ориентированную модель данных, хранящихся в формате JSON.

Реализация серверной части приложения выполнена с помощью языка программирования JavaScript на платформе Node.js с использованием фреймворка Express.js.

Пользовательский интерфейс выполнен на HTML и CSS, а также с помощью фреймворков Bootstrap и Sementic. Он прост в использовании и понятен рядовому пользователю. Благодаря фреймворкам, дизайн сайта легко адаптирован под любые устройства (дисплеи различных размеров, мобильные устройства, планшеты) и операционные системы.

Проверка правильности работы функций сайта проведена с помощью тестов: автоматизированные скрипты для тестирования с использованием Selenium IDE. Они проводились в среде разработки IntelliJ IDEA на языке программирования Java.

В данных скриптах проверяется авторизация пользователя, добавление книги в избранное, просмотр неавторизованными пользователями всех комментариев, поиск и переход на найденную книгу. Для поиска элемента на странице используются команды поиска по имени, по xpath, а также поиск по ключу.

**И. И. Угловец**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Дей**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **GRAPHQL: ЯЗЫК ЗАПРОСОВ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ**

Большинство веб-приложений в интернете построены на REST архитектуре. Данная архитектура подразумевает клиент-серверное взаимодействие с помощью HTTP-запросов (GET, POST, PUT, DELETE и т.д.). Основной минус данной архитектуры в том, что разработчики не могут контролировать данные, которые приходят с сервера на клиент (браузер, мобильное приложение и т.д.) На смену REST архитектуре появился GraphQL.

*GraphQL* – язык запросов, который был разработан компанией Meta в 2012 году внутри компании [1]. Данный язык позволяет получать

данные от API и взаимодействовать с ними. Самым главным плюсом GraphQL перед REST является возможность контролировать получаемые данные от API на клиент. Также получаемые данные возвращаются в формате JSON и похожи на сам запрос.

GraphQL базируется на следующих понятиях: запросы (queries), мутации (mutation), подписки (subscriptions) и схема. Разберем каждое из них более подробно:

1. Запросы позволяют получать данные от сервера на клиент (см. рисунок 1).

```
query {  
  allLifts {  
    name  
    status  
  }  
}
```

Рисунок 1 – Пример запроса на GraphQL

2. Мутации позволяют изменять данные (создавать, обновлять и удалять) (см. рисунок 2).

```
mutation CreateReviewForEpisode(  
  $ep: Episode!  
  $review: ReviewInput!  
) {  
  createReview(episode: $ep, review: $review) {  
    stars  
    commentary  
  }  
}
```

Рисунок 2 – Пример мутации на GraphQL

3. Подписки позволяют слушать изменения данных на сервера в режиме реального времени (см. рисунок 3).

4. Чтобы сервер мог работать с GraphQL, ему нужна строго типизированная схема. Схема — это то, что позволяет всему работать. Она состоит из двух объектов: *TypeDefs* и *Resolvers*. Чтобы сервер мог работать с GraphQL ему нужна строго типизированная схема.

```
subscription listenLikes {  
  listenLikes {  
    fname  
    likes  
  }  
}
```

Рисунок 3 – Пример подписки на GraphQL

Большинство веб-приложений переходят на GraphQL. Данный язык поддерживает большинство популярных языков программирования и технологий.

## Литература

1. Порселло, Е. GraphQL: язык запросов в современных веб-приложениях / Е. Порселло, А. Бэнкс. – Прогресс книга, 2019. – 240 с.

**Е. А. Храмова**  
(ОмГТУ, Омск)

Науч. рук. **Е. Т. Гегечкори**, канд. техн. наук, доцент

## **АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕУСТРОИТЕЛЬНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНЕШНИХ ЦИФРОВЫХ СЕРВИСОВ**

В наше время каждому физическому и юридическому лицу, а также любому государственному и муниципальному органу требуется оформить в собственность свое недвижимое имущество (земельный участок, здание, строение, сооружение, помещение, незавершенное строительство и др.).

Для этого требуется подать полный пакет документов в любой многофункциональный центр предоставления государственных и муниципальных услуг или же направлению данного пакета документов посредством электронного ресурса – сайт ФГБУ ФКП Росреестр.

Для обращения в Росреестр или МФЦ физическим и юридическим лицам, а также государственным служащим требуется подготовка землеустроительной документации для внесения объекта недвижимости на кадастровый учет и регистрацию права, которую разрабатывают кадастровые инженеры в специализированных организациях.

Главная проблема заключается в том, что для разработки требуется качественный, удобный и интуитивно понятный интерфейс с минимальными затратами по приобретению программы для подготовки документации.

В связи с этим, требуется выявить наиболее важные критерии для разработки программного цифрового продукта по подготовке данной документации в короткие сроки.

Каждый кадастровый инженер должен уметь подготавливать: межевой план, технический план, акт обследования, схему расположения земельного участка на кадастровом плане территории, описание местоположения границ.

Каждый из этих документов, кроме акта обследования (выполняется только текстовая часть) имеет текстовую и графическую часть и для этого требуются специализированные программные продукты, разработанные по актуальным xml-схемам, выложенным на официальном сайте ФГБУ ФКП Росреестр.

На сегодняшний день самыми популярными продуктами являются: «ТехноКад-Экспресс», «АРГО», «ПКЗО», «Полигон», «Ми-Сервис» [1–6].

Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки.

Все эти продукты состоят из модулей; есть возможность приобрести либо все модули, либо выборочно в зависимости от того, какие договоры выполняет организация, что очень удобно по соображениям экономичности. Это единственное качество, которое объединяет их по преимуществу.

Для сравнительного анализа указанных продуктов, рассмотрим наиболее важные, по мнению экспертов, критерии, требующиеся в любом цифровом продукте.

Данные, проводились методом парных сравнений.

По мнению экспертов, наиболее важными критериями являются:

- 1) надежность программного обеспечения;
- 2) интуитивно понятный интерфейс.

После выявления важных критериев по цифровому продукту проведем сравнительный анализ на определенных цифровых продуктах. Данные приведены на рисунке 1.

В работе рассматривались цифровые продукты в сфере землеустройства и кадастра актуальные на март 2022: Ми-сервис, Технокад; Полигон; ПКЗО, Арго.

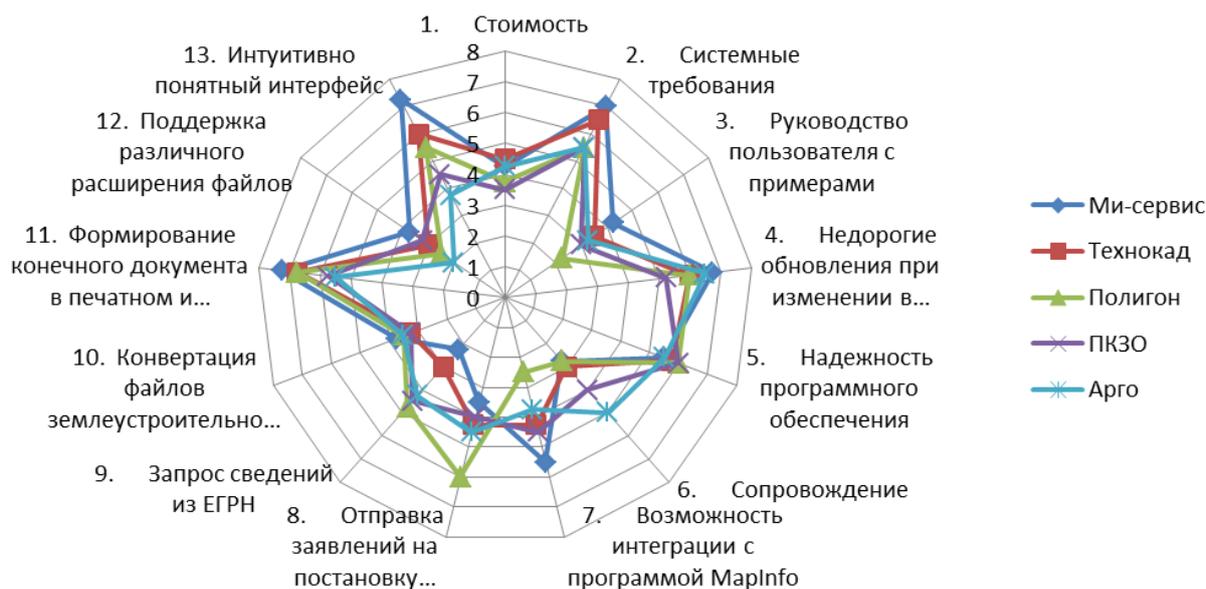


Рисунок 1 – Анализ матрицы частот средних значений

В результате проделанной работы для достижения цели были выполнены следующие задачи:

- 1) Проведен анализ существующих цифровых продуктов.
- 2) Выявлены важные критерии для разработки цифрового продукта.
- 3) Выбран наилучший продукт на сегодняшний день.

Согласно экспертной оценке лучшим цифровым продуктом является Ми-сервис. Наилучшими критериями для данного продукта являются невысокая стоимость обновлений (фактически бесплатные обновления), системные требования и формирование конечного документа в печатном и электронном виде.

Недостатками этого продукта являются:

- отсутствие отправки заявлений на постановку кадастрового учета и регистрацию прав;
- отсутствие запроса сведений из ЕГРН в цифровом продукте;
- плохое сопровождение разработчика.

Аналогом прототипа является цифровой продукт «Полигон» по большинству критериев. Критерии этих двух продуктов находятся в средней отметке по десятибалльной шкале.

Для оптимизации рабочего процесса требуется вариант решения:

Для доработки цифрового продукта «Ми-сервис» требуется добавить:

- функции отправки заявлений на постановку на учет и регистрацию права;

– функцию запроса сведений из ЕГРН для разработки землеустроительной документации.

### Литература

1. Арго [Электронный ресурс] // Общество «Бизнес программное обеспечение и новые технологии». – URL: <http://new.argogeo.ru/>. – Дата доступа: 09.03.2022
2. Ми-сервис [Электронный ресурс] // Программы для MapInfo. – URL: <http://mi-service.ru/>. – Дата доступа: 09.03.2022.
3. ПКЗО [Электронный ресурс] // ООО «Радом-АйТи». – URL: <https://www.pkzo.ru/>. – Дата доступа: 09.03.2022.
4. Полигон [Электронный ресурс] // ООО «Программный центр». – URL: <https://pbprog.ru/Webservices/>. – Дата доступа: 09.03.2022.
5. Росреестр [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии. – URL: <https://rosreestr.gov.ru/>. – Дата доступа: 09.03.2022.
6. Технокад [Электронный ресурс] // ООО «ТехноКад». – URL: <https://www.technokad.ru/>. – Дата доступа: 09.03.2022.

**С. В. Худорожкова**  
(ОмГТУ, Омск)

Науч. рук. **Е. А. Калиберда**, канд. техн. наук, доцент

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДИСПЕТЧЕРА «АВТОБАЗЫ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ» НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЙ «1С»**

В сложившихся условиях пандемии очень важна быстрая работа автомобилей скорой помощи. Необходимо оперативно реагировать и приезжать на вызовы граждан, а также вовремя доставлять пациентов в больницу. Однако, в условиях пандемии, время приезда скорой к пациентам значительно увеличилось. Это может происходить по целому ряду причин: высокая загруженность и нехватка автомобилей скорой помощи, не оптимальность маршрутов, длительный процесс обработки соответствующих документов перед выездом. Поэтому все процессы на предприятиях, которые обслуживают автомобили скорой помощи, должны занимать минимальное количество времени.

Одной из таких организаций является БУОО «Автобаза Здоровоохранения». Она занимается оказанием транспортных услуг и услуг по уборке помещений [1]. Для своевременного выполнения всех работ существует 5 основных отделов, одним из важнейших среди которых является диспетчерская служба.

Большинство бизнес-процессов в данной организации не автоматизировано и осуществляется вручную. Именно поэтому данному предприятию необходима комплексная автоматизация на каждом из этапов автотранспортных перевозок. Первым шагом для достижения этой цели является автоматизация труда диспетчеров данной организации. Их основными обязанностями являются: заполнение, выдача и расчет путевых листов, формирование разнарядки на день, заполнения табеля для водителей и многое другое.

В результате проведенного анализа в деятельности организации были выявлены 26 функций, которые подлежат автоматизации. В таблице 1 представлен пример автоматизируемых функций диспетчера.

Таблица 1 – Автоматизируемые действия диспетчера

№	Действие	Исполнители	Используемые документы	Функция ИС
1	А1.1.1.2 Распределение автомобилей и водителей по маршрутам	Диспетчер	Разнарядка на день	0102. Формирование разнарядки на день
2	А1.1.3.1 Заполнение путевого листа	Диспетчер	Путевой лист	0103. Учет факта ввода путевого листа
3	А1.1.3.7 Расчет параметров в путевом листе	Диспетчер	Путевой лист	0104. Расчет параметров в ПЛ

Для автоматизации деятельности подразделений организации было принято решение о доработке типовой конфигурации «1С: ЗГУ 3.0» [2].

Для реализации функции распределения автомобилей и водителей по маршрутам в конфигурации была создана обработка «Формирование разнарядки на день» с удобной настройкой маршрутов для автомобилей (рисунок 1).

Подвижной состав

Добавить  

N	Клиент	Авто	Машин	Пробег	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Режим работы будни (1см)			
												Часов	Вр.Нач.	Вр.Оконч.	
7	Дежурство ст.Московка-п.Восточный-4Раб.	31	1,0	31	<input checked="" type="checkbox"/>	12*	12,0	6:00:00	20:00:00						
8	Дежурка ул.Косарева,117	37			<input checked="" type="checkbox"/>	12*	12,0	6:00:00	20:00:00						
9	Дежурка -22 Партсъезда,98-2	37			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12*	12,0	6:00:00	20:00:00				
10	БУЗ 00 КРД 6(1)	437	1,0		<input checked="" type="checkbox"/>	7/19/12	12,0	7:00:00	19:00:00						
11	БУЗ 00 ГП № 11				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11	11,0	8:00:00	20:00:00					
12	БУЗ 00 ГП № 11		1,0	120	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	7/8	8,0	7:00:00	7:00:00					
13	БУЗ 00 ГП № 11	474	1,0	120	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11	11,0	8:00:00	20:00:00
14	БУЗ 00 ГП № 11	83	0,5	90	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8/20/9	9,0	8:00:00	20:00:00				

Рисунок 1 – Обработка «Формирование разнарядки на день»

Далее по созданным ранее настройкам маршрутов создается документ «Разнарядка на день» (рисунок 2).

Провести и закрыть   Создать на основании  Печать

номер: 00000000011 Дата: 05.01.2022 12:00:01 Организация: БУОО "Автобаза здравоохранения"

ЛПУ (146) Скорые (117) Министерство (2) Автобаза (39) Платные (1) Дежурные (11) Резерв (267) Ремонт (9) Резерв на выезд Итоги

Добавить    Сортировать по авто  Сортировать по возрастианию  Сортировать по убыванию

N	Авто	Сотрудник	Режим работы	Нач.Работы	Оконч.Работы	Клиент
1	26	Кудрявцев Андрей Валерьевич	6/18/11.50	6:00:00	18:00:00	БУОО "Автобаза здравоохранения"
2	26	Терентьев Владимир Николаевич	18/6/11.50	18:00:00	6:00:00	БУОО "Автобаза здравоохранения"
3	28	Семенов Александр Владимирович	9/6	6:00:00	16:00:00	БУОО "Автобаза здравоохранения"
4	29	Пидгородский Василий Орестович	9/6	6:00:00	16:00:00	БУОО "Автобаза здравоохранения"
5	31	Петров Петр Васильевич	9/6	6:00:00	16:00:00	БУОО "Автобаза здравоохранения"
6	35	Исаченко Виктор Иванович	9/6	6:00:00	16:00:00	БУОО "Автобаза здравоохранения"
7	36	Минх Андрей Адольфович	9/6	6:00:00	16:00:00	БУОО "Автобаза здравоохранения"
8	37	Варакута Александр Григорьевич	9/6	6:00:00	16:00:00	БУОО "Автобаза здравоохранения"
9	39	Дроздов Сергей Николаевич	9/6	6:00:00	16:00:00	БУОО "Автобаза здравоохранения"
10	55	Кожеников Алексей Александрович	6/22/12	6:00:00	22:00:00	БУОО "Автобаза здравоохранения"
11	68	Шаримов Султан Тулегенович	9/6	6:00:00	16:00:00	БУОО "Автобаза здравоохранения"
12	95	Сагумбаев Ермак Сарсимбаевич	9/6	6:00:00	16:00:00	БУОО "Автобаза здравоохранения"
13	173	Беленко Павел Геннадьевич	6/18/11.50	6:00:00	18:00:00	БУОО "Автобаза здравоохранения"
14	173	Анищенко Александр Сергеевич	18/6/11.50	18:00:00	6:00:00	БУОО "Автобаза здравоохранения"
15	182	Ерощенко Михаил Васильевич	6/18/11.50	18:00:00	18:00:00	БУОО "Автобаза здравоохранения"
16	182	Чаусов Николай Александрович	18/6/11.50	18:00:00	6:00:00	БУОО "Автобаза здравоохранения"
17	263	Беленко Павел Геннадьевич	18/6/11.50	18:00:00	6:00:00	БУОО "Автобаза здравоохранения"

Рисунок 2 – Документ «Разнарядка на день»

Реализация функции по заполнению путевого листа была достигнута созданием документа «Путевой лист» (рисунок 3).

Для удобства и быстрой обработки путевых листов был реализован механизм, который позволяет создавать путевые листы и обновлять их прямо из документа «Разнарядка на день» (рисунок 4).

Номер: **001435686**      Дата: **14.02.2022**      График: 7/19/12  
 Модель: 22433С      Гос номер: Т802АА      Стадия обработки: Обработан полностью  
 гараж. №: 412      Колонна: автоколонна № 4      Дата выезда: 14.02.2022  
 Водитель: **Чардынцев Александр Сергеевич**      Таб. номер: 4911      Время выезда: 7:00:00  
 Выдано ГСМ: Выезд:      ЗАЕЗД: Экономия/пережег:      Норма: Факт: 9,390      9,390  
 40,000      22,649      53,259  
 Спидометр Выезд: Спидометр ЗАЕЗД:  
 166 870,00      166 899,00      Часов на маршруте: 12,00      Часов ночных: 0,00      Часов праздничных: 0,00      Часов ВНБ: 0,00      Часов ноч. ВНБ: 0,00

N	Клиент	Вид обл.	Город, км	Часы	Механизм, ч.	Пригород, км.	Прогрев, ч.	Отстой, ч.	Масса груза, т.
1	БУЗ ОО ГКПД (З)	Скорая помощь	29,0	12,00	2,00		2,00		

Морозный день:  Ручной расчет:  Признак ТО1:   
 Дата обработки: 14.02.2022      Ответственный: Парфенова Наталья Геннадьевна (Дисп)      Прицеп:   
 Комментарий:

Рисунок 3 – Документ «Путевой лист»

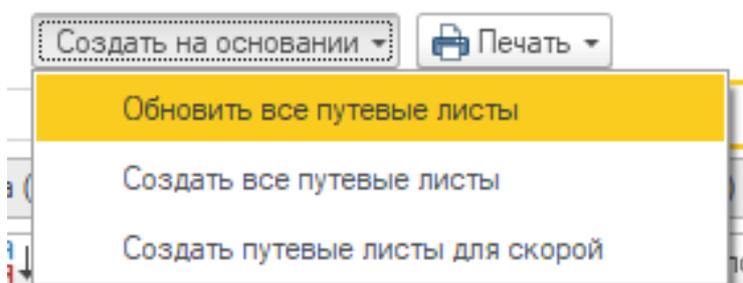


Рисунок 4 – Команды для создания путевых листов

Функция по расчету необходимых параметров в путевом листе, таких как отклонение ГСМ, норма топлива и т.д. была полностью автоматизирована с помощью команды «Рассчитать» в документе «Путевой лист» (рисунок 5).

Морозный день:  Ручной расчет:  Признак ТО1:   
 Дата обработки: . . .      Ответственный: Дивак Ирина Руслановна (Дисп)      Прицеп:   
 Комментарий:

Рисунок 5 – Команда «Рассчитать»

Автоматизация деятельности диспетчера на основе решений фирмы «1С» позволит сократить время обслуживания автомобилей скорой помощи при выезде их на маршрут, что позволит улучшить бес-

перебойную работу и уменьшить время прибытия автомобилей скорой помощи к пациентам.

## Литература

1. Омская губерния [Электронный ресурс] // Министерство здравоохранения Омской области. – URL: [http://oldmzdr.omskportal.ru/ru/RegionalPublicAuthorities/executivelist/MZDR/BUZOO/buz\\_spisok/avto.html](http://oldmzdr.omskportal.ru/ru/RegionalPublicAuthorities/executivelist/MZDR/BUZOO/buz_spisok/avto.html). – Дата доступа: 18.03.2022.

2. Фирма «1С» [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании ООО «1С». – URL: <https://1c.ru/>. – Дата доступа: 17.03.2022).

### Г. В. Чекан

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. Е. А. Ружицкая, канд. физ.-мат. наук, доцент

## РАЗРАБОТКА ЧАТА ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЯ ОБМЕНА КНИГАМИ «BOOKSWAPPING»

В наши дни, когда технологии стремительно развиваются, электронные книги заменяют бумажные. Но несмотря на это, всегда есть те, кто предпочитает держать в руках бумажную версию. Бумажные книги становятся все дороже, а выпуски некоторых книг уже давно прекратили, по этим причинам покупка книг становится более затруднительной.

«BookSwapping» – web-приложение для обмена книгами, которое позволяет пользователям из разных уголков мира обмениваться книгами, пользователи имеют возможность найти любую книгу, даже если она давно была снята с печати, и получить ее практически просто так. Помимо функционала с добавлением книг, их редактированием, регистрации и авторизации пользователей, редактирования профиля пользователя, поиска книг и фильтрации по жанру либо по состоянию книги, в приложении был создан чат, без которого было бы сложно реализовать обмен книгами.

Чат необходим, потому что администратор приложения не может быть посредником для большого числа пользователей, т. к. это заняло бы слишком много времени, потому что при обмене книгами у пользователей могут возникнуть вопросы о том, как лучше совершить обмен: отправкой по почте, при личной встрече либо иные способы со-

вершить обмен или передачу. Для этого и был создан чат, который позволяет пользователям самим решать, как и при каких условиях будет происходить обмен, они могут согласовывать дату, время и место, если решат осуществить обмен вживую, могут узнать подробности о состоянии книги либо обсудить иные вопросы, которые касаются обмена или книги.

Для хранения данных о книгах, пользователях, переписках в чатах используется платформа Firebase, которая предоставляет надежную защиту данных. Для разработки интерфейса и обработки данных используется технология React, которая сейчас набирает популярность среди web-разработчиков из-за её простоты, скорости и масштабируемости.

**Е. О. Черкас**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **М. А. Подалов**, ст. преподаватель

## **РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ДЕКОДИРОВАНИЯ ШТРИХКОДОВ РАЗНЫХ ТИПОВ**

Штрихкод – это графическая структура, представляющая собой зашифрованный номер или артикул продукта, с помощью которых информацию о нём находят в общей базе данных. Штрихкоды используются как в торгово-промышленной сфере, так и в личных целях. Их распространенность в повседневной жизни стремительно растёт, потому что это удобный инструмент для быстрого получения информации. На профессиональном уровне сканер штрихкодов представляет собой предназначенное для декодирования автономное устройство. Однако принцип работы аппарата настолько просто, что его легко заменяет мобильное приложение.

Типы штрихкодов:

1) 1D – Одномерный (линейный)

Штрихкод этого типа представлен в виде прямоугольника, состоящем из чередующихся белых и черных полос. Такая кодировка не подойдёт для записи информации большого объёма, ведь считывание происходит только по горизонтальной оси. Здесь зашифрован код из 20-30 символов [1].

Основные стандарты одномерных штрихкодов:

1. European Article Number, EAN – европейский стандарт для ко-

дирования идентификатора товара и его производителя. Существует EAN-13, EAN-8 и EAN-128. Они отличаются количеством зашифрованных цифр и способом их шифрования. EAN – надмножество UPC [2].



Рисунок 1 – Линейный штрихкод EAN-13

2. Universal Product Code, UPC – американский стандарт, чаще всего использующийся в сфере торговли для отслеживания товаров по их коду. UPC содержит только числа. Он состоит из двух шестисимвольных групп, которые ограждены защитными штрихшаблонами для синхронизации сканера штрихкода. Это позволяет наносить штрихкоды данного типа на закруглённую поверхность [3].

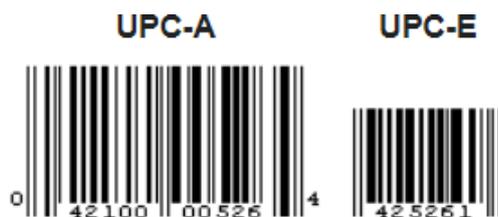


Рисунок 2 – Линейный штрихкод UPC-A и эквивалентный ему UPC-E

## 2) 2D – Двумерный

Это прямоугольник или квадрат с графической интерпретацией последовательности точек черного и белого цвета. Примеры: Data Matrix, QR Code. В двумерной кодировке можно зашифровать до 2 печатных листов.



Рисунок 3 – Пример двумерных штрихкодов видов Data Matrix, QR-code и PDF-417

Для реализации мобильного приложения для декодирования штрихкодов наиболее подходящим вариантом были выбраны языки

программирования Java и Kotlin. Синтаксический разбор всех штрихкодов будет выполняться локально, без соединения с сервером для чтения данных из кода. Для выполнения проекта понадобится

смартфон с версией Android позднее, чем 4.2.2, Android Studio в качестве среды разработки, самая новая версия Android SDK с компонентом SDK tools и Google Play Services SDK.

Существуют специальные классы, обрабатывающие и анализирующие штрихкоды. Эти классы представлены в пространстве имён `com.google.android.gms.vision.barcode`. Наиболее используемым в создаваемом приложении будет `BarcodeDetector`. С его помощью обрабатываются `Frame`-объекты и затем возвращается `SparseArray <Barcode>`, что представляет собой массив штрихкодов.

В `Barcode` вносится штрихкод и его значение. Для одномерных штрихкодов, например, для UPC, в поле `rawValue` хранится зашифрованный в штрихкоде номер, а кодировку – в свойстве `format`.

Для двумерных штрихкодов, например, для QR-кодов, значением `valueFormat` устанавливается значение типа данных. А объект `Barcode.UrlBookmark` – значение адреса, где `Url` – тип данных.

Чтобы считывание и декодирование штрихкодов могло происходить при любом ориентировании устройства в пространстве, необходимо использовать `Mobile Vision API` [4].

## Литература

1. Сканер штрихкода [Электронный ресурс] // Официальный сайт Компании MERTECH. – URL: <https://mertech.ru/blog/vse-o-skanerah-shtrih-koda/kak-rabotaet-skaner-shtrih-koda-otliche-v-ustrojstve-1d-i-2d-skanerah-shtrih-koda/>. – Дата доступа: 19.03.2022.

2. European Article Number [Электронный ресурс] // Свободная энциклопедия Wikipedia. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/European\\_Article\\_Number](https://ru.wikipedia.org/wiki/European_Article_Number). – Дата доступа: 19.03.2022.

3. Universal product code [Электронный ресурс] // Свободная энциклопедия Wikipedia. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Universal\\_Product\\_Code](https://ru.wikipedia.org/wiki/Universal_Product_Code) – Дата доступа: 19.03.2022.

4. Создать приложение для Android [Электронный ресурс] // Уроки по разработке андроид-приложений – URL: <https://www.fandroid.info/kak-sozdat-prilozhenie-dlya-schityvaniya-shtrih-koda-na-android/>. – Дата доступа: 19.03.2022.

**А. А. Шарко**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Ружицкая**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА REST API СЕРВЕРА ДЛЯ ПОКУПКИ И ПРОДАЖИ АВТОМОБИЛЕЙ**

REST API сервер позволяет подключаться к себе любое приложение, поддерживающее HTTP протокол. Этот подход подразумевает выделения некоторого ресурса, которое будет иметь методы получения, добавления, изменения и удаления. В данном приложении ресурсами являются пользователь, объявление, автомобиль. Благодаря разделению объявления и автомобиля можно добавить любое другое транспортное средство и прикрепить его к этому объявлению.

На сервере реализована авторизация и регистрация пользователей, которая поддерживает валидацию присланных данных о клиенте. Также, при регистрации пользователю требуется подтвердить адрес своей электронной почты путём отправки подтверждающего кода, отправленного сервером на его e-mail. Авторизация защищена с помощью JSON Web Token.

Сервер позволяет получить список объявлений с заданными фильтрами и сортировкой. Также есть возможность просмотреть нужное объявление по его идентификатору. При получении объявления пользователями на товар добавляется один просмотр, что позволяет продавцу увидеть сколько человек его просмотрело.

Реализована функция изменения объявления, которая позволяет изменить параметры товара. Присутствует функционал удаления автомобиля. Чтобы создать объявление, требуется отправить POST запрос с параметрами автомобиля, также, по желанию продавца, добавить одну или несколько фотографий товара.

Фотографии хранятся локально на том же компьютере, где и запущен сервер. Присутствует валидация типа файлов и их размер, чтобы предотвратить хранение тяжелых или некорректных файлов в системе.

Сервер реализован на платформе Node.js с помощью фреймворка Express, который облегчает разработку, поддержку и масштабирование API. Информация объявлений и пользователей хранится в документно-ориентированной системе управления данными MongoDB. Она хранит данные в JSON формате, и позволяет быстро и удобно получать их клиентам API.

**В. И. Шихутин, Е. А. Левчук**  
(БГУ, Минск)

Науч. рук. **Е. А. Левчук**, канд. техн. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ОБМЕНА СООБЩЕНИЯМИ ДЛЯ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ANDROID**

В современном мире большое количество людей используют различные мессенджеры. Однако, все они имеют отличия в своем назначении. Так, например, чтобы связаться с использованием видео- или аудио- инструментов, используются Skype или Discord, в которых отлично реализован данный функционал. Мессенджеры Facebook и Telegram больше рассчитаны для текстового общения. Актуальным решением будет создание приложения, которое будет реализовывать совмещенный базовый функционал мессенджеров, подчеркнет плюсы одних и вторых, а также постарается минимизировать минусы [1].

Платформой для разработки программного обеспечения выбрана Android, основным языком разработки служит Java.

Общие требования, предъявляемые к приложению:

1. Приложение должно быть интуитивно понятным.
2. Пользователь может писать сообщения друзьям, а также в группы, в которых он состоит.
3. Пользователь может искать других пользователей, а также добавлять их в друзья. Друзей также можно добавлять в группу, как созданную пользователем, так и его друзьями.
4. Пользователь может загружать фотографию профиля.
5. Пользователь может общаться обычными сообщениями и смайлами.

Прототипы экранов были созданы на сайте Mockups.com.

Первое, что видит пользователь – окно входа. Если у пользователя не получилось зайти, ему будет дана возможность зарегистрироваться. Всё это будет организовано с помощью инструмента Authentication, встроенного в базу данных Firebase.

Firebase – это облачная база данных, которая позволяет пользователям хранить и получать сохраненную информацию, а также имеет удобные средства и методы взаимодействия с ней [2]. Правила безопасности базы данных Firebase в реальном времени определяют, кто имеет доступ для чтения и записи к базе данных, как структурированы данные и какие индексы существуют. Эти правила действуют на

серверах Firebase и применяются автоматически в любое время. Каждый запрос на чтение и запись будет выполняться только в том случае, если это разрешено правилами. Кроме этого, Firebase сама будет кодировать пароль.

Главный экран приложения содержит меню (рисунок 1).

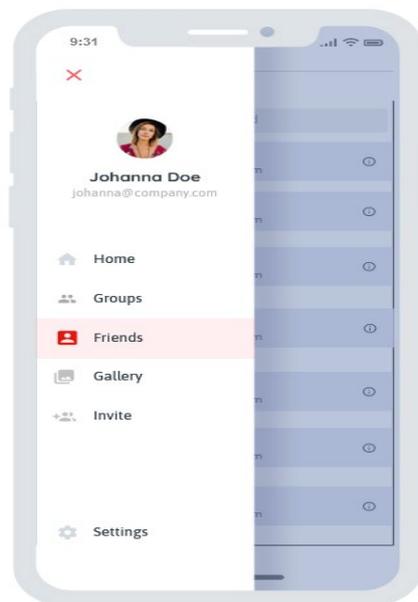


Рисунок 1 – Главный экран приложения

Основными элементами меню являются: Home – стандартный фрагмент; Gallery – содержит фотографии, загруженные пользователем, как в приложение, так и из него; Friends – содержит список друзей; Invite – добавление друга; Groups – содержит все группы.

Функционал может расширяться по мере работы над приложением.

## Литература

1. Харди, Б. Android. Программирование для профессионалов/ Харди Б., Филлипс Б., Стюарт К., Марсикано К. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2016. – 640 с.

2. Built a UI with layout Editor [Electronic resource] // developers from around. – URL: <https://developer.android.com/studio/write/layout-editor>. – Date of access: 09.11.2021.

**А. А. Шуляк-Нестеренко, А. В. Коваленко**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **О. М. Дерюжкова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **ОСНОВНЫЕ СРЕДСТВА ПРОИЗВОДСТВА КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГР**

В данной работе рассмотрим основные принципы разработки компьютерных игр на языке программирования Java. Для создания развлекательных приложений и игр используется игровой движок, с помощью которого можно обеспечить музыкальное и звуковое сопровождение, сетевую игру, графическую визуализацию, встроенные графические сцены и многое другое.

Java – это достаточно простой язык, с помощью которого можно создавать уникальные перспективные проекты с минимальными трудностями. Основной принцип java – меньше писать, больше делать. Этот язык пользуется у программистов очень большим спросом. Большинство современных платформ для создания игр поддерживают Java-семейство. В первую очередь java отлично подходит для создания Android приложений. Всё потому, что часть этой операционной системы написана на Java. А IDEAndroidStudio – популярная программа для разработки мобильного софта для Android, которая этот язык «понимает» как никакая другая [1].

Создавать игру можно тремя способами:

- абсолютно с нуля (этот способ более трудный, но он поможет более детально разобраться с языком);
- на основе готового движка (это облегчает работу и подойдёт новичкам);
- на основе готовых шаблонов (нужно просто поменять местами компоненты, достаточно для того, чтобы создать примитивную игру).

Для разработки помогут Фреймворки и библиотеки. Фреймворк – это каркас, почти готовая игра. Нужно просто дописать для этого каркаса дополнительные функции, подогнав под свой проект. Библиотека – это набор готовых функций, классов и объектов. Библиотеки, в отличие от Фреймворков, не дают почти готовую игру, но дают конкретные инструменты, с помощью которых решать задачи становится намного проще. Самые популярные в разработке игр библиотеки – графические и физические.

– Графические библиотеки позволяют растривать игровые объекты и высчитывают, как изображения или 3D-модели должны выглядеть на мониторе. Самые популярные из них – OpenGL и DirectX.

– Физические библиотеки помогают работать с физикой: ускорять свободное падение, проводить импульсы или задавать векторы. Самые известные из всех – PhysX [2].

Игровой движок – базовое программное обеспечение компьютерной игры или рабочая среда, в которой создают игры. Он состоит из базы, на которой строится проект, и деталей, из которых, словно из деталей Lego, состоит сама игра. Благодаря движку в игровом коде не приходится вручную прописывать, как отобразить на экране условный треугольник, можно сразу заняться взаимодействием элементов [3].

Игровые движки обычно основываются на простых Фреймворках типа SDL и OpenGL, и включают в себя специализированные библиотеки для аудио, видео, физических и математических вычислений и чего угодно еще.

Разные движки выполняют за вас разное количество работы. Некоторые просто отображают графику на экране. Другие, сами по себе, – целая игра с возможностью кастомизации (изменением под себя) или узко заточены под определенный жанр. Так, движок, спроектированный для двумерного файтинга (сражения) на боксёрском ринге, будет существенно отличаться от движка для массовой многопользовательской игры, шутера («стрелялка») от первого лица или стратегии в реальном времени.

Но, в то же время, движки имеют существенные общие части – все трёхмерные игры, невзирая на жанр, требуют взаимодействия игрока посредством клавиатуры, геймпада и/или мыши, некоторую форму трёхмерного рендеринг (англ. rendering – «визуализация»), звуковую систему и многое другое.

Так, движок UnrealEngine, несмотря на то, что был спроектирован для шутера от первого лица, успешно использовался для создания игр во множестве других жанров [4]. UnrealEngine использует модульную систему зависимых компонентов, поддерживает различные системы рендеринга (Direct3D, OpenGL, Pixomatic), воспроизведения звука (EAX, OpenAL, DirectSound3D), средства голосового воспроизведения текста, распознавание речи, модули для работы с сетью и поддержки различных устройств ввода.

Для игры по сети поддерживаются технологии WindowsLive, XboxLive, GameSpy и другие [5].

На рисунке 1 представлены примеры рабочего окна в UnrealEngine 4.

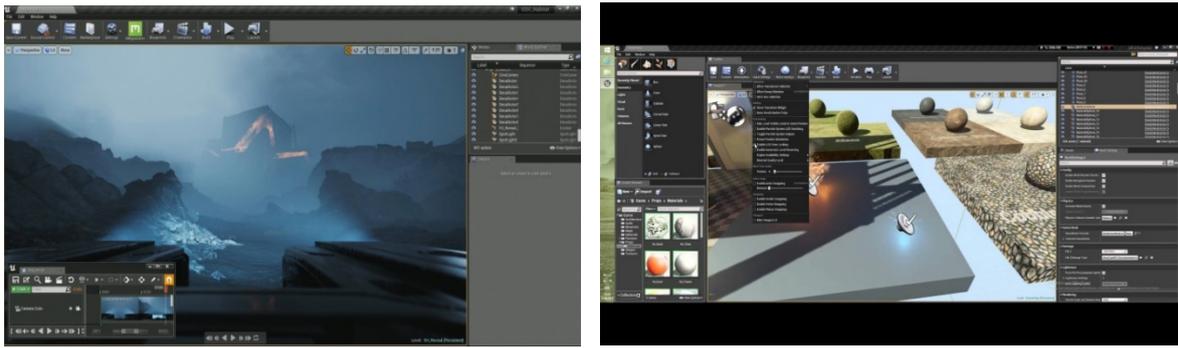


Рисунок 1 – Рабочее окно в UnrealEngine 4

Таким образом, у программистов и разработчиков существует достаточно возможностей выбрать оптимальный для себя «пакет» готовых утилит при создании развлекательного контента.

## Литература

1. Грищенко, М. Как научиться создавать игры: языки, движки и всё, что может понадобиться начинающему разработчику [Электронный ресурс] / М. Грищенко. – URL: [https://checkroi.ru/blog/kak-programmirovat-igry/#Sposoby\\_razrabotki](https://checkroi.ru/blog/kak-programmirovat-igry/#Sposoby_razrabotki). – Дата доступа: 16.03.2022.
2. Java и создание игр: о движках от А до Я [Электронный ресурс] / Otus journal. – URL: <https://otus.ru/journal/java-i-sozdanie-igr-o-dvizhkah-ot-a-do-ya/>. – Дата доступа: 18.03.2022.
3. The basic software of a computer game or video game [Электронный ресурс] / Oxford Dictionaries. – URL: [https://www.lexico.com/definition/game\\_engine](https://www.lexico.com/definition/game_engine). – Дата доступа: 18.03.2022.
4. Jason, Gregory. Game Engine Architecture / Gregory Jason. – CRC Press, 2009. – 864 p.
5. Fonix Speech joins the Unreal Engine 3 [Электронный ресурс] / Fonix Speech. – URL: <http://www.fonix.com/pr/20061002.pdf>. – Дата доступа: 20.03.2022.

## **Секция 4 «Методика преподавания физики и информатики. Образовательная робототехника»**

### **Председатели:**

Шершнев Евгений Борисович, канд. техн. наук, доцент.

Шалупаев Сергей Викентьевич, канд. физ.-мат. наук, доцент.

**А. Н. Дегтярёва, К. В. Губба**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. Л. Тихова**, ст. преподаватель

### **УЧЕБНАЯ ОЗНАКОМИТЕЛЬНАЯ ПРАКТИКА В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ ПЕДАГОГОВ**

Учебная ознакомительная практика – это первый опыт приобщения будущих учителей физики к своей профессии, во многом определяющий мотивацию к дальнейшему освоению этой профессии.

Основные задачи, которые решаются в рамках практики, это ознакомление студентов со структурой и содержанием образовательного процесса в учреждении образования, изучение нормативно-правового обеспечения образовательного процесса, осуществление наблюдения за обучением (деятельностью учителя) и учением (деятельностью обучающихся) в процессе посещения занятий по предмету «Физика».

Для прохождения практики выбираются школы, в которых работают опытные и высококвалифицированные педагоги. Практика имеет определенную этапность. На первом этапе происходит беседа студентов с руководством школы, знакомство студентов с конкретными условиями организации учебно-воспитательного процесса в учреждении образования; получение информации об истории создания школы, ее особенностях, лучших педагогах, традициях. В дальнейшем в течение недели студенты знакомятся с учебными программами, учебниками, учебными и методическими пособиями, календарно-тематическим планированием по предмету, оборудованием и оформлением школьного кабинета физики.

Основным содержанием практики является осуществление наблюдения за преподаванием и учением в процессе посещения уроков, целью которого является осмысление положительного опыта в

работе учителя для последующего применения его в процессе активной педагогической практики и в дальнейшей профессиональной деятельности. Опытные учителя объясняют практикантам что такое урочное планирование, знакомят с типами и формами современного урока, его структурой. На уроке практиканты наблюдают за деятельностью учителя и учеников, учатся выделять основные структурные элементы урока такие как организационный момент, проверка домашнего задания, изложение нового материала, усвоение новых знаний, подведение итогов урока и другие. Все свои наблюдения студенты фиксируют в дневнике практики, после занятий обсуждают посещенные уроки с учителем. Студенты могут наблюдать и сравнивать работу учителя в параллельных классах, в различных по возрасту классах (физика изучается в 6 – 11 классах), действия учителя в зависимости от уровня подготовки и дисциплины учеников. Несмотря на недельную продолжительность практики, студентам удастся посетить различные формы уроков: практикум, лабораторная работа, лекция, комбинированный урок, урок-консультация и другие.

Практика позволяет ознакомиться со средствами обучения, используемыми на уроках физики и методикой их применения учителем. Это классная доска, раздаточные материалы, учебники, демонстрационные установки, оборудование для лабораторных работ.

Учебная ознакомительная практика позволяет взглянуть вчерашним школьникам на профессию учителя совершенно с новой стороны, осознать требования к квалификации современного учителя, понять над какими личностными качествами следует работать для успеха в этой профессии.

**Д. И. Демков, Д. И. Демьянцев**  
(БелГУТ, Гомель)

Науч. рук. **Н. А. Ахраменко**, канд. техн. наук, доцент

## **НАУЧНЫЙ ПОДХОД ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ**

В первую очередь средняя школа рассматривает механизм взаимодействия точечных зарядов, которые создают электрическое поле.

Первым, кто догадался, что «тела действуют друг на друга на расстоянии посредством обращения окружающей среды в состояние напряжения», был выдающийся английский учёный Майкл Фарадей

(1791–1867). Обобщая результаты собственных исследований, проведённых с 1832 по 1852 г., Фарадей ввёл в физику новое понятие – поле. Он рассматривал поле как материальную среду, которая является посредником при любых взаимодействиях удалённых друг от друга тел. Современники Фарадея, например, Уильям Томпсон или Джеймс Клерк Максвелл, также использовали термин «поле». Уильям использовал его эпизодически при математическом описании результатов экспериментов Фарадея. Максвелл же использовал термин «поле» в своей работе «Динамическая теория электромагнитного поля», в которой о поле говорится как о физической реальности. По современным представлениям, электрический заряд наделяет окружающее пространство особыми физическими свойствами – создаёт электрическое поле. Ученые считают, что, электрические заряды не действуют друг на друга непосредственно. Каждое заряженное тело создает в окружающем пространстве электрическое поле. Это поле оказывает силовое действие на другие заряженные тела. Главное свойство электрического поля – действие на электрические заряды с некоторой силой. Таким образом, взаимодействие заряженных тел осуществляется не непосредственным их воздействием друг на друга, а через электрические поля, окружающие заряженные тела.

Электрическое поле, окружающее заряженное тело, можно исследовать с помощью так называемого пробного заряда – небольшого по величине точечного заряда, который не производит заметного перераспределения исследуемых зарядов.

Для количественного определения электрического поля вводится силовая характеристика – напряженность электрического поля. Напряженность электрического поля – векторная физическая величина. Направление вектора  $\vec{E}$  в каждой точке пространства совпадает с направлением силы, действующей на положительный пробный заряд.

Если с помощью пробного заряда исследуется электрическое поле, создаваемое несколькими заряженными телами, то результирующая сила оказывается равной геометрической сумме сил, действующих на пробный заряд со стороны каждого заряженного тела в отдельности. Следовательно, напряженность электрического поля, создаваемого системой зарядов в данной точке пространства, равна векторной сумме напряженностей электрических полей, создаваемых в той же точке зарядами в отдельности. Это свойство электрического поля означает, что поле подчиняется принципу суперпозиции. Все мы произвольно сталкиваемся с электрическими полями даже не замечая этого, когда сидим за компьютером или смотрим в телевизор.

Электрическое поле неподвижных и не меняющихся со временем зарядов называется электростатическим. Во многих случаях для краткости это поле обозначают общим термином – электрическое поле.

В рамках школьной программы электростатическое поле изучается в рамках раздела «Электродинамика» [1]. Школьники изучают следующие темы: «Электростатическое поле», «Напряженность электростатического поля. Принцип суперпозиции», «Линии напряженности электростатического поля», «Работа силы однородного электростатического поля. Потенциал», «Разность потенциалов электростатического поля». При изучении этих тем вводится понятие точечного заряда [1, с. 117]. Между тем заряды могут быть распределены по поверхности и по объему. Об этом можно было бы тоже упомянуть в школьном учебнике, введя понятия поверхностной и объемной плотностей зарядов. Так при равномерном распределении зарядов по поверхности поверхностную плотность заряда можно определить как отношение заряда на поверхности к площади поверхности  $\sigma = q/S$  с размерностью  $Кл/м^2$ . При равномерном распределении зарядов по объему объемную плотность заряда можно определить как отношение заряда в объеме к объему  $\rho = q/V$  с размерностью  $Кл/м^3$ .

Знание характеристик электростатических полей требуется при работе с линиями связи, антеннами и другими устройствами и на преподавателе лежит большая ответственность, ведь при должном разъяснении данной тематики в будущем из учащегося может получиться качественный специалист.

## Литература

1. Громько, Е. В. Физика. 10 класс: учеб. для школ / Е. В. Громько [и др.] – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2019. – 267 с.

**В. А. Дубовская**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Н. А. Алешкевич**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФИЗИКИ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ**

В современном мире, когда информационно-коммуникативные технологии (ИКТ) стали неотъемлемой частью повседневной жизни,

внимание и интерес школьников к изучаемым предметам трудно пробудить с помощью традиционных форм и методов преподавания. Поэтому педагогическая практика переориентируется на использование современных образовательных инструментов и технических средств, которыми школьники умеют пользоваться с ранних лет. Одним из эффективных методов и средств обучения в подобных условиях становится использование различных образовательных платформ, которые позволяют не только развивать и оценивать теоретические знания по предмету, но и способствуют активации его познавательной деятельности, развитию творческих и исследовательских компетенций.

Применение образовательных платформ на уроках физики – это инструмент формирования интереса к предмету, самостоятельности в работе и продуктивности обучения. Практическое использование подобного рода платформ должно начинаться с тщательной подготовки учителем информационного пространства, исходя из целей и задач их применения.

Нами рассмотрен и проанализирован целый ряд образовательных платформ, которые могут быть использованы на уроках физики. Самыми простыми и популярными образовательными платформами сейчас являются: «Nearpod», «Kahoot!», «Buncee», «Remind» и «ThingLink». Каждая из этих платформ оснащена определёнными функциональными и техническими возможностями, которые при методически грамотном их использовании позволят значительно повысить эффективность и результативность образовательного процесса и активизировать познавательные способности учащихся.

Платформа «Nearpod» позволяет реализовать множество интерактивных уроков, над разработкой которых трудились лучшие эксперты. Ее преимущество в том, что уроки данной программы распределены не только по классам, но и по уровню сложности. Учитель может не только взять готовый материал, но и модернизировать его, внося необходимые изменения.

Обучающая платформа «Buncee» позволяет не только создавать презентации, учитывая последние тенденции, но и разрабатывать мультимедийные уроки. Такие уроки способствуют не только познанию чего-то нового, но и развитию творческого и критического мышления, а также развитию коммуникативных отношений между учащимися в процессе их совместной деятельности. Данная платформа включает в себя более тысячи графических изображений, которые способствуют наглядному и зрительному восприятию изучаемого материала.

Мультимедийная платформа «ThingLink» позволяет разрабатывать или изменять изображения и видеоролики в режиме реального времени. Данная программа рассчитана не только на редактирование и аннотацию изображения в режиме онлайн, но и на поддержание контента AR/VR и видеоматериалов на 360 градусов. Пользователю необходимо сделать всего несколько шагов, что получить интерактивный контент, который заинтересует обучающихся.

Платформа, которая является не только образовательной, но и своего рода игровой – это «Kahoot!». Образовательное пространство данного программного продукта позволяет создавать обучающие и развивающие игры. Программа дает возможность учителям не только интересно излагать новый материал, но и проводить опросы и тестирование. Для закрепления знаний удобно использовать такие формы, как викторина (вопросы с множественным выбором), true/false (простые вопросы на внимание), опрос (быстрая проверка сразу всех учащихся и совместный анализ ответов), головоломка (позволяет проверить более глубокое понимание темы).

Остановимся подробнее на вопросах практического использования приложения для образовательных проектов «Kahoot!», которое нами используется при проведении уроков физики в среднеобразовательной школе. Известно, что любой урок начинается, как правило, с проверки домашнего задания и степени усвоения пройденного материала. Традиционно этот этап связан с экспресс опросом учащихся, или проведением краткого тестирования. Однако, подобные формы контроля знаний сводятся, в лучшем случае, к простому зазубриванию и неосмысленному изложению основных формул, понятий и определений, или к условной игре «Угадайка» при проведении тестирования. Таким образом, повторение пройденного материала превращается в однообразное и скучное занятие, не представляющее никакого интереса для учащихся, и пустую трату времени для педагога.

Как показывает практика ситуацию можно исправить с помощью обучающей платформы для проведения викторин, создания тестов и образовательных игр «Kahoot!», которая позволяет превратить опрос домашнего задания в увлекательный процесс в мультимедийной форме. Конечно же, от учителя требуется соответствующая предварительная подготовка учебного материала (составление списка вопросов, вариантов ответов, дополнение его картинками или видеоматериалами, рассылка ссылок на гаджеты учащихся, либо компьютеры и т.п.). Задания могут быть разнообразными, представленными в виде теста или опроса, викторины или кроссворда, комбинации нескольких

альтернативных форм опроса, предназначенными для работы со всем классом, или индивидуальными для каждого ученика. Сразу же после завершения работы учащиеся получают заслуженную отметку, учитель может оценить результаты, выявить определённые пробелы и недостатки в усвоении пройденного материала. При проведении более глубокого анализа ответов можно увидеть, какие вопросы вызвали сложность у учащихся и более детально проработать их вместе с ними. Проанализировав работу учащихся, учитель имеет возможность внести определенные коррективы, выбрать наиболее приемлемую и интересную форму проведения опросов, использовать весь функционал образовательной платформы не только при проведении опросов, но и при рассмотрении нового материала, проведении контрольных срезов, подготовке к различным конкурсам и олимпиадам.

Таким образом, использование современных образовательных платформ с элементами электронного контента, позволяет создавать виртуальную образовательную среду с многообразием учебных и вспомогательных материалов, направленных на развитие творческих и исследовательских компетенций учащихся.

Функционал подобных ресурсов обеспечивает наличие обратной связи и рефлексивного взаимодействия с обучающимися, создает у школьников ощущение способности управлять ходом образовательного процесса, усиливает ответственность за получаемый результат, что позволяет ученику от пассивного восприятия представленной информации перейти к активному участию в процессе обучения.

**В. А. Дубовская**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **С. В. Шалупаев**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **МЕТОДИКА ИЗЛОЖЕНИЯ ВТОРОГО ЗАКОНА НЬЮТОНА**

При изучении физики мы сталкиваемся с понятием «физический закон». Под физическим законом понимается объективные и повторяющиеся закономерности, существующие в природе. Физические законы подразделяются на типы по уровню содержащегося в них обобщения, а именно: фундаментальные законы, законы сохранения и частные законы. Ядром классической механики являются первый, второй и третий законы Ньютона. Все законы Ньютона являются глубоко экспериментальными законами [1–3]

Как бы хотелось сформулировать 2-й закон Ньютона. Знаменский пишет: «Перед учащимися 2-й закон должен предстать как подлинный закон, в котором даются количественные зависимости между величинами, уже установленными другими путями, помимо 2-го закона». Для этого до 2-го закона надо ввести понятие массы и силы.

Понятие массы одно из самых сложных и фундаментальных в науке. Это понятие используется как для объектов макромира, так и микромира. Методические варианты введения понятия массы хорошо обсуждены в методической литературе. На наш взгляд, достаточно ограничиться понятием массы как меры инертности тела.

Далее дают качественное определение понятия силы как величины, характеризующей действие одного тела на другое. Сила величина векторная. Величину силы связывают с удлинением пружины. На любое прикреплённое к пружине действует одна и та же сила, если пружина растянута на  $\Delta l = const$ .

Проводя различные комбинации экспериментов, приходят к выводу, что равнодействующая сил, действующих на тело, равна произведению массы этого тела на его ускорение.

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (1)$$

Однако такой путь противоречит вышеприведенным рассуждениям Знаменского, потому что это же суждение (1) одновременно является и определением силы.

В (1) раскрывается динамический характер понятия силы. И это самое красивое и правильное из всех мыслимых определений силы. Но, определив силу, как произведение массы на ускорение, мы ничего нового не открываем, обнаружив основной закон, утверждающий, что  $\vec{F} = m\vec{a}$ . Такие высказывания не могут составить содержание физики, как тавтология. Второй закон – самое точное определение силы, но и вместе с тем абсолютно бесполезное. Истинное содержание второго закона Ньютона таково: предполагается, что сила обладает независимыми свойствами в дополнение к закону  $\vec{F} = m\vec{a}$ . Но характерных независимых общих свойств сил не описал полностью ни Ньютон, никто-либо другой. Да и сам закон  $\vec{F} = m\vec{a}$  не совсем верен, а будь он определением, мы должны были бы утверждать, что он верен всегда.

Так каково же точное и правильное определение силы. Как бы мы этого не хотели, абсолютно точного определения нет (кроме второго закона, который тоже приближение). Все физические законы, в какой-то степени приближения. Любое простое высказывание приближенное. Если спросить у философов, что такое предмет, они ответят: «Ну

стул». Стоит это услышать и понятно, что они сами не могут определить абсолютно точно это понятие. Чётко определить стул, сказать какие атомы принадлежат ему, а какие полу – невозможно. Ту же массу стула можно определить лишь приближённо с точностью, до вылетающих из него атомов. Вся суть в идеализации. В очень хорошем приближении вы можете считать массу стула постоянной. Точно так же можно идеально изучить и характеристики силы, если не гнаться за абсолютной точностью. Вы можете предпочесть математическое определение, но оно не действует в реальном мире – они хороши для математики – там можно от и до следовать логике, а физический мир сложнее. Вся система рассуждений о реальном мире предполагает разного рода приближения. В математике всё точно определено, но неизвестно, о чём говорят – в этом её величие, её логика не зависит от того, чего она касается. Наше пространство Евклида и Римана – это вопрос физики, а не математики. Так же нельзя назвать  $\vec{F} = m\vec{a}$  определением, вывести из него все чисто математически и сделать механику математикой. Поэтому не представляется убедительным введение массы как  $m = \frac{F}{a}$ , где  $m$  выступает как количественная мера инертности. Хотя Макс Борн пишет, что масса не имеет иного смысла, кроме того, которое ему придает формула  $m = \frac{F}{a}$ . Как же можно ввести понятие силы без второго закона?

Вначале необходимо установить эталон силы, так же, как и указывалось ранее. Если груз на пружине покоится, то сила притяжения к земле уравновешивается силой упругости, то есть в равновесии сила уравновешивается. Любую другую силу можно измерять, присоединяя несколько эталонов к телу или для сил меньших эталона, располагать их под углом. Здесь нужно дополнительно постулировать аддитивность сил. То есть в такой методике появляется дополнительный постулат. Но он безусловно справедлив, хотя и не очевиден.

## Литература

1. Теория и методика обучения физике в школе : частные вопросы : учеб. пособие для студ. пед. вузов / С. Е. Каменецкий [и др.] ; под ред. С. Е. Каменецкого. – М. : Издательский центр «Академия», 2000. – 384 с.
2. Голин, Г. М. Вопросы методологии физики в средней школе / Г. М. Голин. – М. : Просвещение, 1987. – 127 с.

3. Малафеев, Р. И. Проблемное обучение физике в средней школе : кн. для учителя / Р. И. Малафеев. – 2-е изд., дораб. – М. : Просвещение, 1993. – 188 с.

**Н. А. Егоров, М. В. Савошко**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)  
Науч. рук. **Е. Л. Тихова**, ст. преподаватель

## **НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ УЧИТЕЛЯ И ОБУЧАЮЩИХСЯ НА УРОКЕ ФИЗИКИ**

Осуществление наблюдения за обучением (деятельностью учителя) и учением (деятельностью обучающихся) в процессе посещения занятий по предмету «Физика» является основным содержанием учебной ознакомительной практики студентов первого курса специальности Физика (научно-педагогическая деятельность).

На первых этапах студент наблюдает и анализирует отдельные этапы или методические аспекты урока, например, научность и доступность материала, наглядность на уроке, воспитательные элементы урока, поведение учителя на уроке (умение управлять классом, находчивость, речь, место в классе), методы и приемы работы и др. Затем студент должен научиться давать общую оценку урока, выделять самые существенные моменты. К ним можно отнести структуру урока, содержание отдельных элементов урока, деятельность учителя и деятельность учащихся. Для детального анализа необходимо иметь схемы наблюдения и анализа уроков различных видов: комбинированный, усвоения новых знаний и развития умений, лабораторная работа, и другие типы уроков.

Общая схема наблюдения может иметь вид:

1. Дата наблюдения, класс, место урока в расписании учебного дня; количество учащихся, присутствующих на уроке.

2. Тема урока. Место данного урока в общей системе уроков по теме (выясняется предварительно из программы, тематического планирования, беседы с учителем, какое место в системе уроков занимает данный урок (урок усвоения новых знаний и развития умений, урок закрепления знаний и формирования умений и навыков, контрольный урок и другие).

3. Цели урока (выясняются у учителя перед началом урока):

а) образовательные: какие знания должны быть получены (за-

креплены, повторены) учащимися на данном уроке?

б) развивающие: какие умения формируются (развиваются) на данном уроке?

в) воспитательные: какие воспитательные возможности дает тема и как они реализуются в ходе урока?

4. Форма проведения урока: урок-лекция, урок-беседа, урок-экскурсия, урок-семинар, урок-практикум, урок-диспут, комбинированный урок и другие.

5. Оборудование урока: наличие дидактических материалов, использование классной доски, приборы, принадлежности и другое.

6. Запись хода урока. Может быть выполнена по следующей схеме:

Этапы урока	Деятельность учителя	Деятельность учеников

На этапе учебной ознакомительной практики студентам, не имеющим знаний по методике преподавания физики, затруднительно провести детальный анализ урока, дать общую оценку его результативности, образовательной и воспитательной эффективности, содействию общему развитию учащихся. Основная задача, которая ставится перед ними – это овладение методикой наблюдения, можно сказать, что практика на первом курсе – это практика наблюдений: за организацией учебно-воспитательного процесса в школе, за методикой подготовки учителя к различным типам уроков, за обучением и учением на уроке.

**А. А. Жулего**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Е. А. Дей**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **ИНТЕРАКТИВНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ УЧЕБНОГО WEB-РЕСУРСА ПО МЕТОДУ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ**

Одним из самых эффективных методов имитационного моделирования является метод молекулярной динамики (МД). Он основан на моделировании движения системы частиц (атомов, молекул) с учетом потенциала их взаимодействия. Для каждой молекулы дифференциальные уравнения движения классической механики решаются чис-

ленным методом Верле [1]. На основании результирующих значений координат и скоростей частиц вычисляются физические характеристики системы.

Для активного усвоения студентами вопросов, связанных с физическими и математическими основами метода молекулярной динамики, был разработан учебный веб-ресурс с использованием языка разметки HTML5 и языка JavaScript [2, 3].

Веб-ресурс содержит информацию по истории развития метода, формулировке уравнений движения, формированию начальной конфигурации системы, потенциалам молекулярного взаимодействия, обработке результатов моделирования и другим вопросам [4].

На заключительном этапе в качестве учебного примера на отдельной странице веб-ресурса было разработано и размещено интерактивное приложение (модель), реализующее метод молекулярной динамики в двумерной геометрии (рисунок 1).

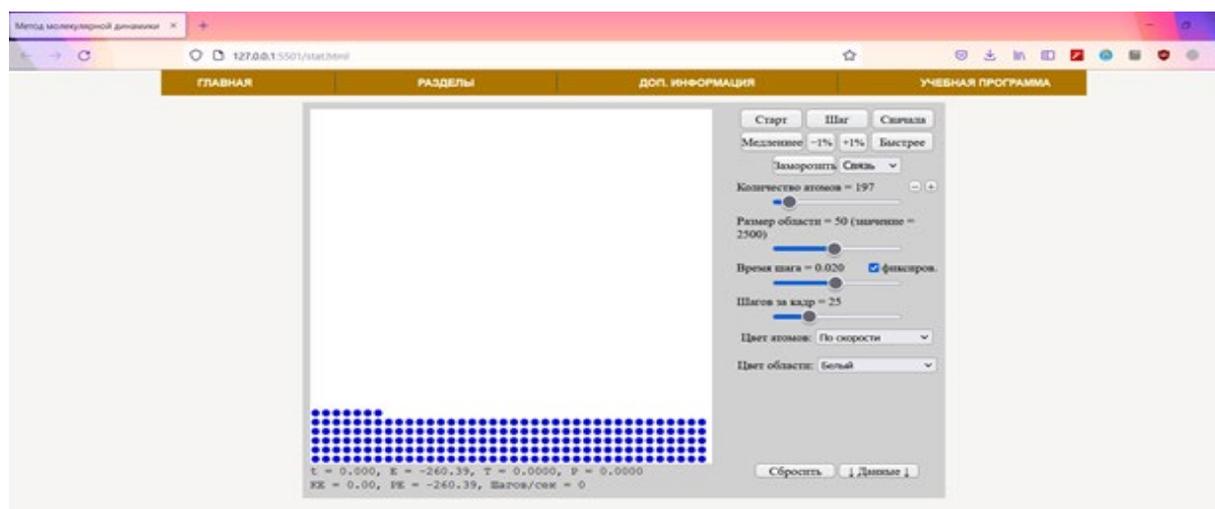


Рисунок 1 – Страница с интерактивной реализацией метода МД

Сила между атомами рассчитывается на основании потенциала Леннарда-Джонса (с отсечением на расстоянии трех молекулярных диаметров).

Численное решение дифференциальных уравнений движения выполняется с помощью алгоритма Верле для значения шага по времени, выбираемого на экране. Использование слишком большого временного шага может сделать моделирование неточным, а иногда даже нестабильным.

Код реализации алгоритма Верле приведен на рисунке 2.

```

function Verle() {
    var dt = Number(dtSlider.value);
    var halfdt = 0.5 * dt;
    var halfdtsquared = halfdt * dt;
    for (var i=0; i<N; i++) {
        x[i] += vx[i]*dt + ax[i]*halfdtsquared;
        y[i] += vy[i]*dt + ay[i]*halfdtsquared;
        vx[i] += ax[i]*halfdt;
        vy[i] += ay[i]*halfdt;
    }
    computeAccelerations();
    for (var i=0; i<N; i++) {
        vx[i] += ax[i]*halfdt;
        vy[i] += ay[i]*halfdt;
    }
    for (var i=0; i<fixedCount; i++) {
        vx[fixedList[i]] = 0;
        vy[fixedList[i]] = 0;
    }
    time += dt;
    updateTandP();
    autoRecordData();
    resizeStep();
}

```

Рисунок 2 – Программная реализация метода Верле

В моделировании используется естественная система единиц физических величин, в которой атомный диаметр, атомная масса, глубина потенциала Леннарда-Джонса и постоянная Больцмана равны 1.

Кнопка «Старт» начинает симуляцию, «Шаг» – переход вперед во времени на один временной шаг. Ползунок «Шагов на кадр» управляет как скоростью непрерывной работы, так и количеством временных шагов, выполняемых между моментами вывода конфигурации молекул на экран.

Кнопки «Быстрее» и «Медленнее» увеличивают и уменьшают скорость всех атомов на 10%. Можно нажимать их несколько раз для большего эффекта или использовать кнопки +1% и -1% для точной настройки. Кнопка «Заморозить» устанавливает все скорости на ноль. Использование этих кнопок выводит систему из теплового равновесия.

Ползунок «Размер области» изменяет ширину контейнера (в единицах атомного диаметра); поскольку контейнер всегда рисуется так, чтобы заполнить одну и ту же область экрана, этот параметр также определяет масштаб (уровень масштабирования) изображения. Когда симуляция запущена, она ограничивает скорость изменения размера окна.

Для более информативного отображения молекул на экране используется цветовая градация из 20 цветов соответственно величине модуля скорости. Самый яркий цвет используется для всех скоростей выше 3,0.

Статистические данные, отображаемые под изображением системы частиц, включают время, общую энергию, температуру и давление. Температура вычисляется на основании средней кинетической энергии. Температура и давление усредняются по времени.

Вид окна интерактивной модели после завершения расчетов показан на рисунке 3.

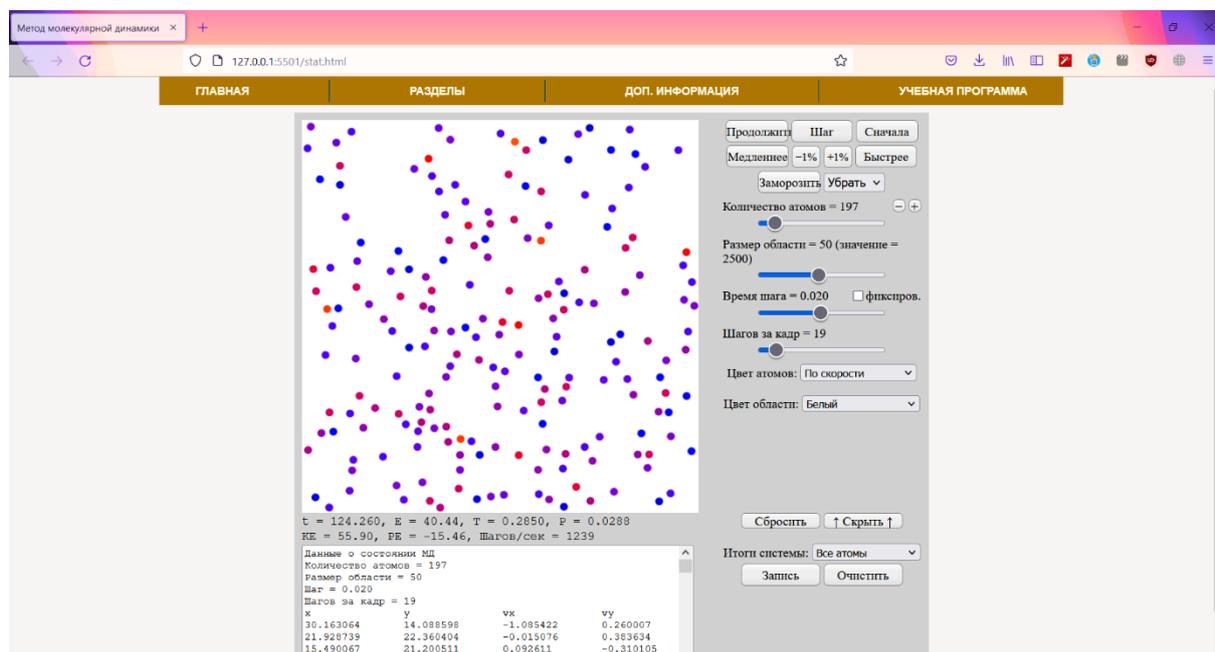


Рисунок 3 – Результат работы интерактивной программы

Разработанный веб-ресурс и интерактивное приложение в его составе могут быть использованы студентами специальности «Компьютерная физика» при изучении метода молекулярной динамики и самостоятельного проведения вычислительных экспериментов.

## Литература

1. Галимзянов, Б. Н. Основы моделирования молекулярной динамики: Учебное пособие / Б. Н. Галимзянов, А. В. Мокшин. – Казань : КФУ, 2016. – 107 с.

2. Лабберс, П. HTML 5 для профессионалов. Мощные инструменты для разработки современных веб-приложений / П. Лабберс, Б. Олберс, Ф. Салим. – М. : Вильямс, 2011. – 267с.

3. Флэнаган, Д. JavaScript. Подробное руководство / Д. Флэнаган ; пер. с англ. – 6-е издание. – СПб : Символ-Плюс, 2012. – 1080 с.

4. Жулего, А. А. Разработка учебного web-ресурса по методу молекулярной динамики / А. А. Жулего // Актуальные вопросы физики и техники: X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов : материалы: в 2 ч. Ч. 1. (Гомель, 22 апр. 2021 г.) / ГГУ им. Ф. Скорины ; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 258–261.

**Д. Ишанбердиев**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. Н. Годлевская**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ИЗУЧЕНИЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ В СЕДЬМОМ КЛАССЕ**

В [1, с. 5] в числе актуальных, обуславливающих особенности организации образовательного процесса в учреждениях общего среднего образования Республики Беларусь в 2021/2022 учебном году, названы системно-деятельностный, культурологический, личностно ориентированный и компетентостный подходы. Подчёркнуто также, что «формирование опыта деятельности учащихся на основе приобретаемых знаний для решения широкого диапазона жизненных задач в различных сферах деятельности человека, профессионального определения, общения и социальных отношений является актуальным аспектом образовательного процесса при реализации образовательных программ общего среднего образования» [1, с. 6]. В научно-методических и дидактических материалах, размещенных на национальном образовательном портале <https://adu.by>, рекомендовано предлагать учащимся практико-ориентированные задания, которые «предназначены для формирования образовательных компетенций и ориентированы на усвоение учащимися учебного материала при осуществлении различных видов деятельности: познавательной, коммуникативной, поисковой, творческой и др.» [1, с. 6].

Возможность личного проектирования уроков физики с соблюдением принципов, соответствующих вышеперечисленным подходам,

была предоставлена автору в ходе педагогической практики в ГУО «Гимназия № 14 г. Гомеля», признанной в 2022 году лучшим учреждением общего среднего образования Республики Беларусь. В ходе практики, в соответствии с календарно-тематическим планированием разработан блок из четырёх уроков по разделу «Движение и силы», которые были проведены в седьмых классах.

Урок «Решение задач по теме «Сила тяжести. Сила упругости. Вес тела» был разработан как урок обобщения и систематизации знаний. На этапе входного контроля учащимся предлагались как вопросы, целью которых было воспроизведение фактических знаний, так и качественные задачи, способствующие углублению понимания учащимися физического смысла понятия о силе как мере взаимодействия тел, различия силы тяжести, веса тела, силы упругости. Результаты совместного обсуждения учащимися ответов на заданные им вопросы были систематизированы в таблице 1, которая использовалась на уроке при анализе ситуаций, описанных в задачах разной сложности, предложенных для решения. На этом этапе урока учащиеся могли работать индивидуально (условия задач были в раздаточном материале) или вместе с учащимся, выказавшим желание работать у доски, который должен был произвести анализ условия, вычертить чертеж, указать на нём действующие силы, комментировать свои действия при решении задачи.

Актуализация знаний о силе упругости, силе тяжести, весе тела и способах измерения, графического определения и вычисления физических величин, контроль степени усвоения знаний с помощью теста и при решении вычислительных задач на очередном уроке – самостоятельной работе по теме «Сила упругости, сила тяжести и вес тела» – способствовали не только систематизации и углублению знаний и умений учащихся, но и подготовке их к изучению силы трения. На уроке «Трение. Сила трения» формирование представления о силе трения, причинах, обуславливающих её возникновение и факторах, влияющих на её величину, способах изменения и экспериментального измерения силы трения, обсуждение практического использования трения было организовано в форме беседы, с применением демонстрационных экспериментов, которые под руководством учителя-практиканта выполняли учащиеся, и многочисленных качественных задач. При этом удалось активизировать работу всех учащихся и создать условия для применения знаний о силах различной природы в необычных ситуациях (например, обсуждая способ доставки блоков для строительства пирамид, пользу смазки в подшипниках и её вред

при разливе масла на проезжей части дороги, значение трения при движении метеора в земной атмосфере).

Таблица 1 – Систематизированные сведения о силе тяжести, силе упругости и весе тела

Сила	Сила тяжести	Сила упругости	Вес тела
Определение	Сила, с которой Земля притягивает к себе тело	Сила, с которой на тело действует деформированная опора или подвес	Сила, с которой тело вследствие притяжения Земли действует на опору или подвес
Формула	$F_T = mg$	$F_{упр} = F_{деф}$	Если тело покоится: – на горизонтальной поверхности $P = mg$ ; – на наклонной плоскости $P < mg$ . При движении в вертикальном направлении: – если тело <i>неравномерно</i> (с <i>разгоном</i> ) опускается; $P < mg$ , – если тело <i>неравномерно</i> (с <i>разгоном</i> ) поднимается $P > mg$ .
Точка приложения	Центр однородного тела	Тело, обусловившее деформацию опоры или подвеса	Опора или подвес – в месте контакта с деформирующим телом
Направление	Вертикально вниз	Противоположно силе, обусловившей деформацию опоры или подвеса	Перпендикулярно к поверхности опоры или вдоль подвеса

Благодаря активной работе учащиеся были подготовлены к практической деятельности по изучению силы трения скольжения в ходе урока-лабораторной работы [2, с.165] и успешно её выполнили на очередном уроке. Анализируя результаты оценивания самостоятельной и лабораторной работы (отметки не ниже семи баллов получили соответственно 70 и 80 процентов учащихся), автор убедился в своей профессиональной состоятельности и в готовности эффективно обучать детей. Приобретённый опыт системного проектирования образовательного процесса будет использован при подготовке дипломной

работы и в самостоятельной педагогической деятельности после окончания университета.

## Литература

1. Инструктивно-методическое письмо министерства образования Республики Беларусь «Об организации в 2021/2022 учебном году образовательного процесса при изучении учебных предметов и проведении факультативных занятий при реализации образовательных программ общего среднего образования». – Утверждено 18 июня 2021 // Фізика. – 2021. – № 3 (136). – С. 5 – 20.

2. Исаченкова, Л. А. Физика : учебное пособие для 7 класса учреждений общего среднего образования с рус. яз. обучения / Л. А. Исаченкова, Ю. Д. Лещинский. – Минск: Народная асвета, 2017. – 167 с.

**А. С. Кляузо**

(БГПУ имени М. Танка, Минск)

Науч. рук. **В. Р. Соболев**, д-р физ.-мат. наук, профессор

### **ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ БЛОКОВ**

В современном мире задумались о реформировании школьного образования, ориентация которого направлена на дифференциацию в обучении. Можно говорить, что обучение имеет особенность по удовлетворению потребностей каждого учащегося. К которым можно отнести и учащихся, проявляющих большой интерес к изучению школьного предмета «Физика» на повышенном уровне.

Развитие учебного процесса в средней школе происходит в том числе и по индивидуализированному построению образовательных траекторий за пределами общей программы, но с привлечением базовых положений, усваиваемых во время занятий лабораторного практикума. Реализация в лаборатории простейших форм механического движения с возможностью их количественного соотнесения с классическими законами Галилея и Ньютона создает у будущих физиков ощущение сопричастности к фундаментальному знанию, стимулирует к более глубокому усвоению предмета.

Осмысление динамики и кинематики комплексного движений предусматривает расширение перечня привлекаемых понятий и терминов. К терминам массы, силы, скорости, ускорения необходимо добавить термины типа момента инерции, момента силы, угловой скорости, углового ускорения. В перечисленном множестве терминов при рассмотрении задач функционирования блока и механизмов на его основе вполне возможно подготовить школьника к углубленному изучению механики в вузах технического профиля [3].

В сообщении представлен вариант реализации расширенного лабораторного эксперимента по выполнению работы «Изучение неподвижного и подвижного блоков» [1], доступного к осуществлению в школьном физическом кабинете при закреплении темы по динамике вращательного движения [2] с привлечением установки типа «Машина Атвуда» (Рисунок 1). Из ранее предлагаемых школьникам задач на основе неподвижного блока можно сформулировать следующую. К одному плечу неподвижного блока присоединен непосредственно груз заданной массы, создающий нагрузку на нить. Другое плечо блока через нить также нагружено, но не какой-то заданной массой, а системой переменной массы, то есть соединенной с нитью осью вторичного блока.

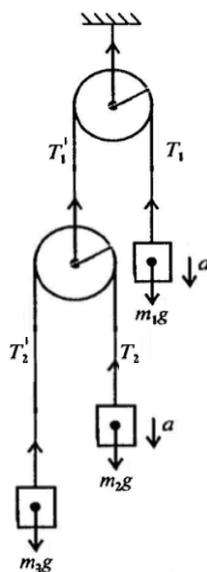


Рисунок 1 – Графическое изображение сил, действующих в системе

Состояние движения грузов в системе вторичного блока позволяет варьировать силу натяжения нити основного блока. Иными словами, введя в плечо каждой четырех нитей по чувствительному динамометру и запуская установку возможно по данным регистрации промежу-

ков времени по высоте, выявить ускорения груза на основном блоке и на вторичном блоке.

$$\begin{aligned}m_1 g - T_1 &= m_1 a_1 \\m_2 g - T_2 &= m_2 a_2 \\T_2' - m_3 g &= -m_3 a_3 \\T_1 - T_1' &= I_1 \frac{1}{R_1^2} a_1 \\T_2 - T_2' &= I_2 \frac{1}{R_2^2} a_2\end{aligned}$$

Некоторая сложность при регистрации данных заключается в необходимости использования либо двух секундомеров, либо двух электронных датчиков. Это требует навыков командной работы, при которой необходимо фиксировать два временных интервала – времени прохождения для оси вторичного блока и времени прохождения одного из грузов на плече вторичного блока, а также показания динамометров во время движения.

Тем не менее, достаточно простое аналитическое построение решения задачи, позволяет исследовать динамику такого рода системы с переменной массой по итогам лабораторного эксперимента в школе даже с учетом инерционности вращения и действия сил трения. Опыт будет благоприятствовать более продуктивному усвоению знаний, лучшему пониманию законов физики, а также развитию интеллектуального и творческого потенциала учащегося.

## Литература

1. Исаченкова, Л. А. Тетрадь для лабораторных работ по физике для 9 класса / Л. А. Исаченкова, Е. В. Захаревич, А. А. Сокольский. – Минск : Аверсэв, 2019. – 80 с.
2. Сокольский, А. А. Учебное пособие для 9 класса учреждений общего среднего образования с русским языком обучения / Л. А. Исаченкова, А. А. Сокольский, Е. В. Захаревич. – Минск : Народная асвета, 2019. – 208 с.
3. Sobol, V. Interactive representation of the laws of mechanics on the basis of digital model «Atvud mashine» / Sobol V., Zinkevich O., Fedorov Ch. // Educational information technologies and a robotics. – Proc, Rep. Scient. Pract. Conf. Minsk. March 27-28, 2018. – P. 108–111.

**А. Д. Маркелов**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)  
Науч. рук. **А. А. Середа**, ст. преподаватель

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ EASYEDA ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

Специалисты в области радиоэлектроники должны обладать опытом работы в разных программных продуктах, позволяющих в кратчайшие сроки и максимально эффективно разработать электронное устройство любой сложности. Помощь в этом оказывают лабораторные практикумы, которые преподаватели и студенты радиотехнических специальностей могут использовать не только во время аудиторных лабораторных работ, но и как практические пособия для самостоятельного изучения и освоения, а также для дистанционного обучения. При этом важно, чтобы, изучая принципы проектирования радиоэлектронных устройств, будущий специалист двигался по принципу «от простого к сложному», последовательно осваивая принципы проектирования печатных плат, приобретая навыки работы в различных системах автоматизированного проектирования (САПР). Осваивая работу в различных САПР, студент получает возможность оценить достоинства и недостатки использования каждой из них, а также сформировать для себя область применения каждой из них. Поэтому необходимо внедрять в лабораторные практикумы работы в различных САПР по моделированию электрических схем и проектированию печатных плат.

Например, студенты специальностей «Физическая электроника» и «Электронные системы безопасности» УО «Гомельский государственный университет имени Ф.Скорины» первые проекты выполняют в программном продукте Sprint – Layout, который обладает простым, интуитивно понятным интерфейсом, но ограниченным функционалом в области автоматизации компоновки элементов и трассировки проводников, проектирования многослойных плат, импорта электрических схем и т.п. Он идеально подходит для начинающего радиолюбителя и позволяет освоить этапы и особенности ручного и полуавтоматического проектирования печатных плат без построения 3D моделей радиоэлементов и возможности импорта электрических схем в проект. Вторым программным продуктом для освоения служит Ultiboard от компании National Instruments, в котором есть возможность импорта электрической схемы из программы Multisim, разра-

ботки 3D моделей радиоэлементов, создания межслойных переходов, зон запретов и многое другое.

Далее изучается Altium Designer, который позволяет все этапы разработки электронного устройства реализовать в едином проекте: разработанную принципиальную электрическую схему, экспортировать в модуль для проектирования печатных плат, а полученные трехмерные модели разместить в модуле 3D моделирования и преобразовать их в чертежи для конструкторской документации [1]. Данная программа имеет огромный функционал, специализированные элементы интерфейса и может вызывать некоторые затруднения в освоении, при отсутствии навыков работы в других аналогичных программах.

Как альтернативу Altium Designer среди большого разнообразия программных пакетов позволяющих автоматизировать процессы схемотехнического моделирования можно выделить EasyEDA.

EasyEDA – кросс-платформенная веб-ориентированная среда автоматизации проектирования электроники включающая в себя редактор принципиальных схем, редактор топологии печатных плат, SPICE-симулятор, облачное хранилище данных, систему управления проектами, а также средства заказа изготовления печатных плат [2].

Она подходит для разработки электронных устройств низкой и средней степени сложности и предназначена для инженеров-электронщиков, преподавателей, студентов и радиолюбителей, так же позволяет все этапы разработки электронного устройства реализовать в едином проекте: разработанную принципиальную электрическую схему, экспортировать данные схемы для проектирования печатных плат, а полученные трехмерные модели разместить в модуле 3D моделирования и преобразовать их в чертежи для конструкторской документации.

#### **Система обеспечивает возможность совместной работы:**

- совместное редактирование несколькими пользователями одного проекта;
- создание опубликованного проекта;
- совместное наполнение библиотеки компонентов;
- обсуждение проектов и компонентов.

Очень важной считаю возможность использования сервиса в коммерческих проектах и совместной работе над одним проектом командой разработчиков, которая предоставляется даже на бесплатном тарифе. Можно предоставить и *read-only* доступ, например, студент может предоставить доступ на просмотр своего проекта своему пре-

подавателю, оставляя свой проект недоступным для других пользователей.

Для освоения данной программы для студентов специальности «Физическая электроника» разработан лабораторный практикум, в рамках которого студент в сжатом, выверенном преподавателем виде получает навыки работы в EasyEDA. В лабораторный практикум включены работы позволяющие разработать принципиальную электрическую схему устройства, используя как встроенную базу элементов, так и создаваемые в процессе выполнения лабораторных работ собственные элементы библиотеки, выполнить ее моделирование; осваивается процесс проектирования печатных плат, как с «нуля», так и путем экспорта разработанной принципиальной электрической схемы в модуль проектирования печатных плат с сохранением электрических связей между выводами радиоэлементов. Начиная в первые годы обучения с более простых систем проектирования и к старшим курсам осваивая более профессиональные пакеты программ, то есть следуя принципу «от простого к сложному», выпускники становятся специалистами в области радиоэлектроники и способны эффективно работать в электронной промышленности.

## Литература

1. Altium Designer – система сквозного проектирования [Электронный ресурс] / Журнал «САПР и графика» - ваш проводник в мире САПР. – URL: <https://sapr.ru/article/21029>. – Дата доступа: 25.02.2022.
2. EasyEDA [Электронный ресурс] / Свободная энциклопедия Wikipedia. – URL: <https://wiki2.net/EasyEDA>. – Дата доступа: 25.02.2022.

**М. М. Матякубова**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. Н. Годлевская**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **РАЗВИТИЕ МЫШЛЕНИЯ, СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И УГЛУБЛЕНИЕ ЗНАНИЙ УЧАЩИХСЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПО ГИДРОАЭРОСТАТИКЕ В ДЕВЯТОМ КЛАССЕ**

В 2018 году учащиеся Республики Беларусь впервые участвовали в международном сравнительном исследовании PISA-2018, целью которого являлось выяснение того, «обладают ли учащиеся 15-летнего

возраста, получившие обязательное общее образование, знаниями и умениями, необходимыми им для полноценного функционирования в современном обществе, т.е. для решения широкого диапазона задач в различных сферах человеческой деятельности, общения и социальных отношений?» [1, с. 7]. При оценивании читательской, математической и естественнонаучной грамотности учащихся установлено, что: «опыт работы учащихся с текстами в наибольшей степени связан с художественной литературой и в значительно меньшей степени – с несплошными текстами (текстами, содержащими диаграммы, карты, таблицы или графики), а также с текстами, со ссылками на интернет-страницы...; анализ данных, которые необходимо получить из таблиц и диаграмм, решение задач, условие которых дополнено иллюстрацией, вызывали затруднения при выполнении заданий с математическим содержанием; комбинированные задания, которые включают симуляцию, выбор, анализ графика, установление последовательности и соответствия, а также текст в различных комбинациях, вызывали наибольшие затруднения при выполнении заданий с естественнонаучным содержанием» [2, с. 6]. В [1, с. 26] отмечено, что «по результатам исследования, проведенного McKinsey, повышение качества образования (по результатам PISA) в большей степени зависит от улучшения учебного процесса». При этом эффективные стратегии связаны с применением методов активного обучения в условиях доминирования учителя, обеспечивающего учащихся теми базовыми знаниями, умениями и навыками, которые необходимы для формирования метапредметных компетенций. В связи с изложенным автором был сделан вывод о необходимости приобретения компетенции в применении междисциплинарного и компетентностного подхода и развитии навыков использования активных методик обучения. Возможность для этого была предоставлена во время педагогической практики в ГУО «Гимназия № 14 г. Гомеля», в которой были внедрены в учебный процесс авторские разработки уроков по темам «Закон Архимеда. Условия плавания тел» (решение задач) и «Плавание судов. Воздухоплавание. Решение задач по теме "Закон Архимеда"» (изучение и закрепление учебного материала).

При знакомстве с учащимися в целях мотивации к активной деятельности автор попросила их помочь найти ответы на некоторые вопросы из повседневной жизни, «возникшие у начинающего учителя при подготовке к уроку», при формулировке ответов, на которые требуется задуматься об их физическом содержании. В числе таких вопросов, включённых в содержание входного контроля, были вопросы

о происхождении силы Архимеда, возможных способах её измерения и необходимых для их реализации приборов, загадка об айсберге и вопрос о причинах, по которым затонул «Титаник». Способ для закрепления знаний и умения вычислять силу Архимеда в разных условиях и основную цель урока назвали сами учащиеся, а вопросы об айсберге и «Титанике» были использованы как «переходный мостик» к решению задач следующего содержания (при их решении требовалось внимательное чтение, анализ и сравнение ситуаций, построение чертежей, физическое обоснование алгоритма решения и анализ результата):

– Небольшой сосновый брусок плавает в сосуде с керосином. Какая часть бруска погружена в керосин?

– Айсберг плавает в воде. Какая его часть находится над водой?

– В водоёме, глубина которого 10 м, находится поплавок массой 1,2 кг и объёмом 3,0 дм<sup>3</sup>. К нему привязана верёвка. Сможет ли поплавок всплыть, если сечение верёвки 6,0 см<sup>2</sup>, а её плотность 1,6·10<sup>3</sup> кг/м<sup>3</sup>?

– Посередине большого озера прорубили прорубь. Толщина льда оказалась равной 10 м. Какой длины нужна веревка, чтобы зачерпнуть ведро воды?

– Кусок никеля с полостью внутри весит в воздухе  $P$  (Н). Вес этого куска никеля в воде  $T$  (Н), при этом вода в полость не проникает. Определите объём полости. Силой Архимеда, действующей на кусок никеля при его взвешивании в воздухе, можно пренебречь.

Перед изучением условий плавания судов и воздухоплавания в целях актуализации знаний, создания проблемной ситуации и расширения кругозора учащихся в число стандартных вопросов (о силах, действующих на тела, погруженные в жидкость или газ; о величинах, влияющих на величину силы Архимеда) были использованы качественные задачи, основанные на применении междисциплинарных связей:

– Зачем рыбам воздушный пузырь? Как рыбы его используют?

– Зачем в корзину воздушного шара перед взлетом помещают балласт и выбрасывают его по мере увеличения высоты подъёма?

– Используется ли балласт на подводных лодках? Что используется в качестве балласта?

– На какое тело, погружённое в водный раствор соли, действует самая большая и самая малая сила Архимеда, если объёмы тел одинаковы, нижняя поверхность тела шероховатая и плотность раствора увеличивается с глубиной (рисунок 1).

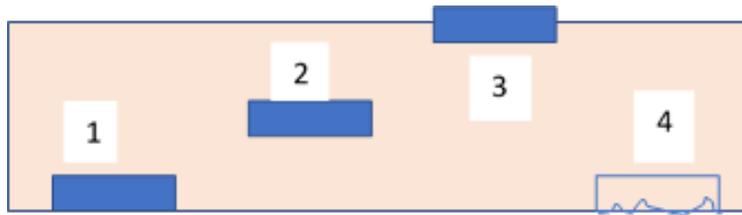


Рисунок 1 – Тела одинакового объёма, погружённые в раствор соли переменной плотности

– Всплывёт ли подводная лодка, если она плотно сядет на илистое дно? Ответ поясните.

После этапа изучения нового материала – с выяснением условий плавания судов, установлением различий в принципах воздухоплавания и авиации, организованного в форме беседы с учащимися, – закрепление новых знаний было проведено посредством решения аналогичных содержащимся в [3] практико-ориентированных задач о лодках, покрытых слоем битума.

Приобретённый опыт проектирования и практической реализации уроков будет использован автором при подготовке дипломной работы и в самостоятельной педагогической работе в школах Туркменистана.

## Литература

1. Сиренко, С. Н. Международные исследования качества образования. Анализ итогов PISA 2015, 2018 для Беларуси и России [Электронный ресурс] / С. Н. Сиренко. – URL: [elib.bspu.by/bitstream...04.09.2020\\_](http://elib.bspu.by/bitstream...04.09.2020_) Международные... – Дата доступа: 24.02.2022.

2. Инструктивно-методическое письмо министерства образования Республики Беларусь «Об организации в 2021/2022 учебном году образовательного процесса при изучении учебных предметов и проведении факультативных занятий при реализации образовательных программ общего среднего образования». – Утверждено 18 июня 2021 г. // Фізика. – 2021. – № 3 (136). – С. 5 – 20.

3. Савенок, А. Ф. Физика в задачах : пособие для абитуриентов, учителей физики и учащихся старших классов: ч. 1. Механика и молекулярная физика / А. Ф. Савенок, И. П. Лазовский. – Молодечно : Победа, 1997. – 254 с.

**В. А. Никитюк, И. И. Гоголев, Д. В. Барановский**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Ю. В. Никитюк**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **МЕТАМОДЕЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДУЛЯ ANSYS DESIGN EXPLORATION**

Компьютерное моделирование широко используется в различных областях науки и техники. При этом получение аналитических решений для реальных объектов и процессов сопряжено с существенными трудностями, а натурные испытания, как правило, связаны с материальными затратами. Поэтому все чаще используются методы компьютерного моделирования, основанные на вычислительных экспериментах с использованием систем инженерного анализа – систем САЕ (Computer Aided Design). В настоящее время получил широкое распространение программный комплекс конечно-элементного анализа ANSYS. Данная САЕ система обеспечивает возможность получения решений для линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твердого тела, задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики и акустики [1–4]. Применение САЕ системы ANSYS сопряжено со значительной вычислительной трудоемкостью при моделировании реальных объектов и процессов, что значительно уменьшает возможности ее использования при необходимости выполнения многовариантных расчетов.

В последние годы интенсивно развивается новое направление математического моделирования – метамоделирование, при реализации которого математические модели для сложных систем строятся по результатам вычислительных экспериментов. Создание таких моделей основано на принципах машинного обучения (machine learning) [5–6], при котором модели «обучаются» на множествах входных и выходных данных. Такие модели фактически имитируют как источники входных данных, так и сами модели, поэтому такие модели называют также метамоделями (модели над моделями), при этом метамодели имеют существенно более высокую вычислительную эффективность по сравнению с исходными моделями [1].

Таким образом, целью построения метамодели является определение приближенных значений выходных параметров на основе входных параметров без проведения полных расчётов. Эта цель достигается с применением планирования эксперимента при построении соот-

ветствующих регрессионных выражений [7–8]. Планирование эксперимента – это метод выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для получения необходимой информации при наименьшем числе вычислений. При этом осуществляется минимизация общего числа опытов при одновременном варьировании всех переменных по определенным правилам [9].

Реализация технологии метамоделирования возможна в модуле DesignXplorer программы ANSYS Workbench [10] (см. рисунок 1). При использовании модуля ANSYS Design Exploration доступны следующие планы проведения эксперимента:

- Central Composite Design (CCD);
- Box-Behnken Design;
- Sparse Grid Initialization;
- Latin Hypercube Sampling Design (LHS);
- Optimal Space-Filling Design (OSF).

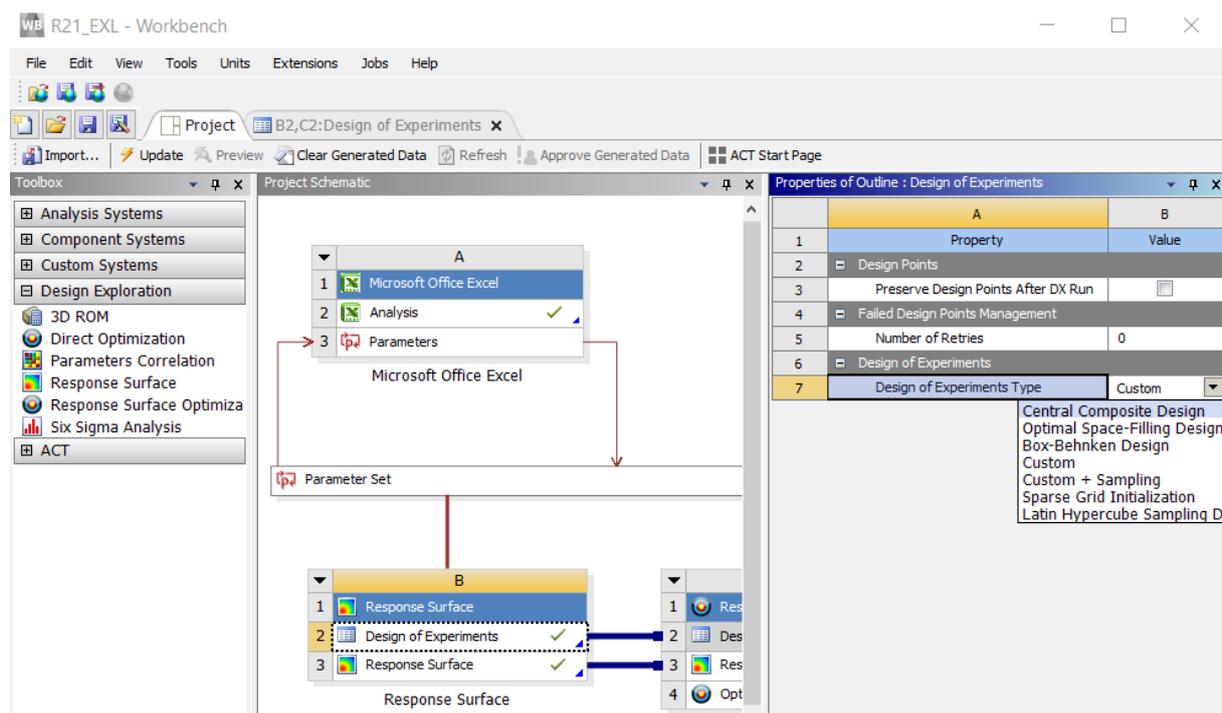


Рисунок 1 – Интерфейс DesignXplorer

На факультете физики и информационных технологий изучается дисциплина «Введение в технологии компьютерного моделирования» [10]. Представляется целесообразным разработку дополнительных лабораторных работ по метамоделированию в DesignXplorer. Применение в лабораторном практикуме данных работ обеспечит более эф-

фективное использования ЭУМК по дисциплине «Введение в технологии компьютерного моделирования».

## Литература

1. Агалаков, Ю. Г. Сокращение размерности данных в задачах имитационного моделирования / Ю. Г. Агалаков, А. В. Бернштейн // ИТиВС, 2012, выпуск 3. – С. 3–17.

2. Каплун, А. Б. ANSYS в руках инженера : практическое руководство / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. – М. : Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.

3. Чигарев, А. В. ANSYS для инженеров : справочное пособие / А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. – М. : Машиностроение, 2004. – 512 с.

4. Основы работы в ANSYS 17 / Н. Н. Федорова [и др.]. – М. : ДМК Пресс, 2017. – 210 с.

5. F. Chollet. Deep Learning with Python / Manning Publications Co., 2018. – 400 p.

6. Mitchel, T. Machine Learning / T. Mitchel. – 1st edition. – McGraw-Hill Education, 1997. – 432 p.

7. Моргунов, А. П. Планирование и анализ результатов эксперимента : учеб. пособие / И. В. Ревина; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2014. – 343 с.

8. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий/ Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука. – 1976. – 278 с.

9. Конюхов, В. М. Численное моделирование и метод планирования вычислительных экспериментов : учеб.-метод. пособ. / В. М. Конюхов, А. Н. Чекалин, И. В. Конюхов. – Казань: Казанский федеральный университет, 2016. –30 с.

10. Design Exploration User Guide. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ansys.com/Products/Workflow+Technology/ANSYS+Workbench+Platform/ANSYS+DesignXplorer> – Дата доступа: 27.03.2022.

11. Никитюк, Ю. В., Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Введение в технологии компьютерного моделирования». Регистрационное свидетельство №5142022849 от 23.06.2020.

**В. А. Никитюк, Д. В. Барановский, И. И. Гоголев**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Ю. В. Никитюк**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ В МОДУЛЕ DESIGNXPLORER ПРОГРАММЫ ANSYS WORKBENCH**

Одним из актуальных направлений автоматизированного проектирования в настоящее время являются оптимизационные расчеты, позволяющие не только определить характеристики проектируемого изделия и технологические параметры процесса его производства, но и осуществить поиск их оптимального сочетания.

Данные расчеты обеспечивают возможность поиска эффективных конструктивных и технологических решений, повышая конкурентоспособность продукции, значительно снижая затраты по сравнению с перебором вариантов вручную [1].

Для проведения оптимизационных расчетов в программном комплексе ANSYS Workbench применяется модуль DesignXplorer (см. рисунок 1) [2].

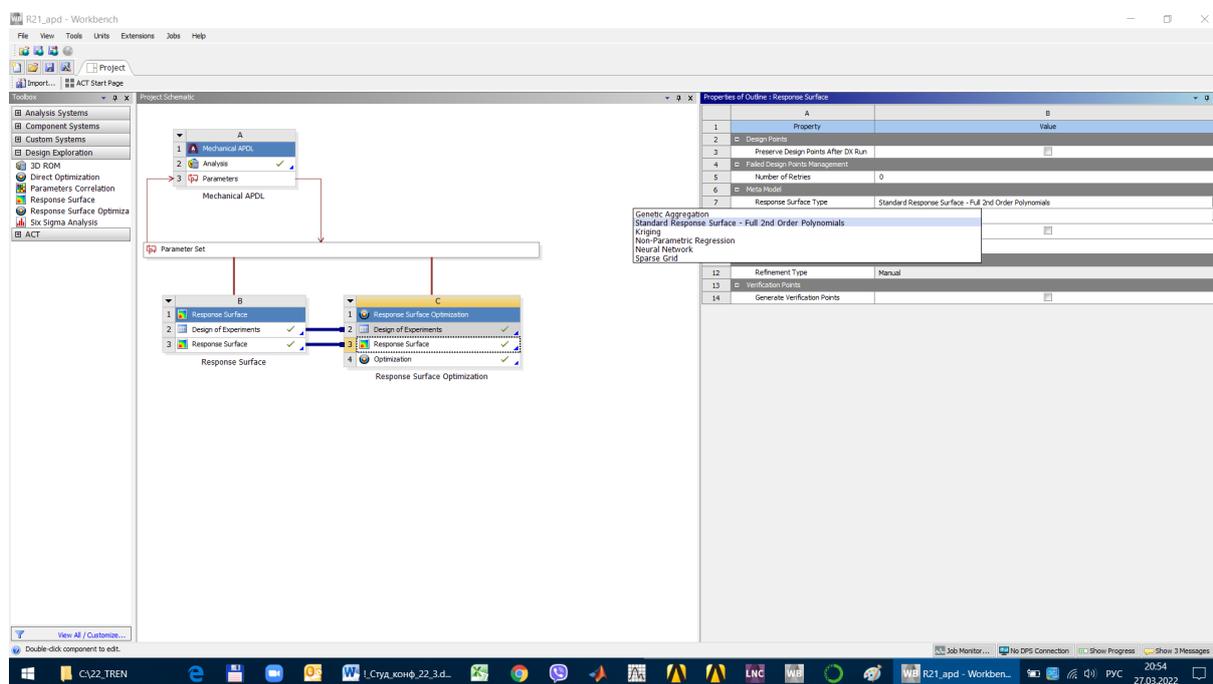


Рисунок 1 – Интерфейс DesignXplorer

В модуле DesignXplorer предлагается два варианта оптимизации: Response Surface optimization и Direct optimization, при реализации которых могут быть использованы следующие методы [2–3]:

- Screening (выборка наилучших значений случайным образом из пространства решений);
  - MOGA (генетический алгоритм);
  - NLPQL (метод последовательного квадратичного программирования);
  - MISQP (модифицированный метод последовательного квадратичного программирования);
  - ASO (адаптивная одноцелевая оптимизация);
  - АМО (адаптивная многоцелевая оптимизация).
- При этом могут быть следующие варианты для создания поверхности отклика (см. рисунок 2):
- стандартная поверхность отклика;
  - кригинг;
  - непараметрическая регрессия;
  - нейронная сеть;
  - разреженная сетка.

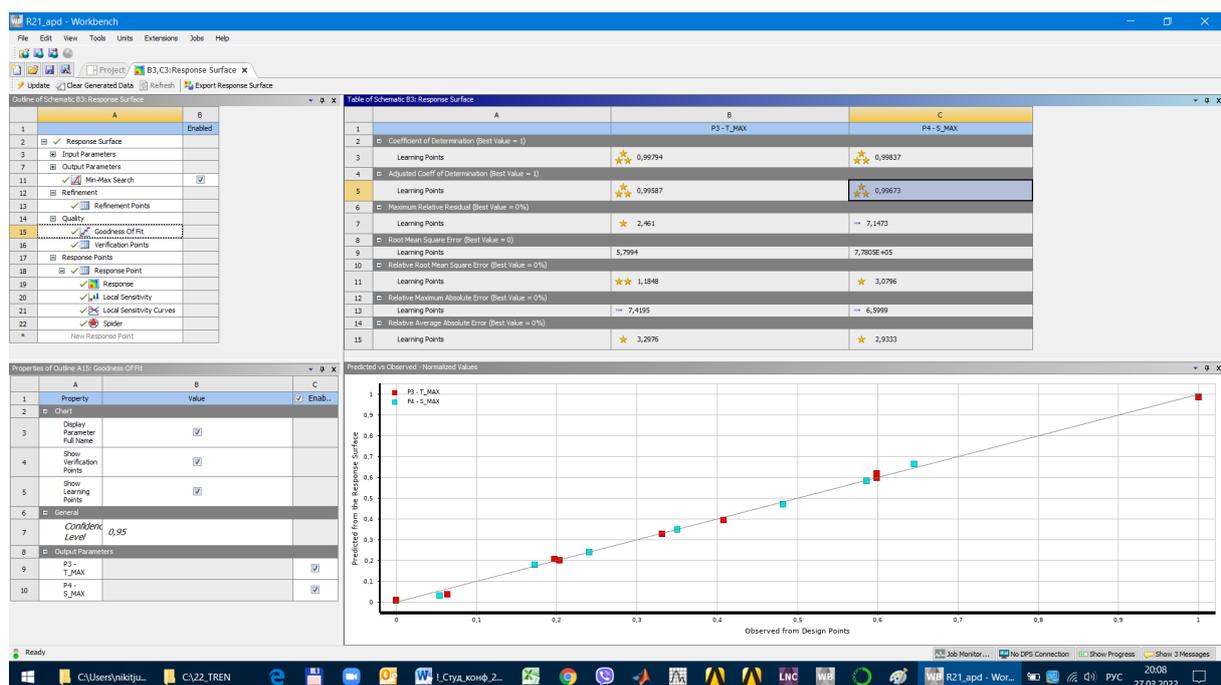


Рисунок 2 – Интерфейс Response Surface

Представляется целесообразным разработка дополнительных лабораторных работ по оптимизации в DesignXplorer в рамках практикума дисциплины «Введение в технологии компьютерного моделирования» [5]. При подготовке лабораторных работ целесообразно использование многокритериальной оптимизации (одновременной оп-

тимизации двух и более целевых функций) при помощи генетического алгоритма MOGA [6].

## Литература

1. Волкинд, Д. Оптимизация как новое направление автоматизированного проектирования : приоткрываем возможности ANSYS DesignXplorer / Д. Волкинд // САПР и графика. – 2012. – № 9. – С. 74–76.

2. Основы работы в ANSYS 17. / Н. Н. Федорова [и др.]. – М. : ДМК Пресс, 2017. – 210 с.

3. Design Exploration User Guide. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ansys.com> – Дата доступа: 27.03.2022.

4. Системы исследования параметрической оптимизации в ANSYS WORKBENCH [Электронный ресурс]. / Д. С. Аброжевич // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки : электронный сборник статей по материалам студенческой международной научно-практической конференции. – Новосибирск: Изд. ООО «СибАК». – 2020. – № 6(89). – URL: <https://sibac.info/archive/technic/6%2889%29.pdf> С. 197–200 – Дата доступа: 27.03.2022.

5. Никитюк, Ю. В. Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Введение в технологии компьютерного моделирования». Регистрационное свидетельство №5142022849 от 23.06.2020.

6. Красновская, С. В. Обзор возможностей оптимизационных алгоритмов при моделировании конструкций компрессорно-конденсаторных агрегатов методом конечных элементов / С. В. Красновская, В. В. Напрасников // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2016. – № 2. – С. 92–98.

**К. В. Повзик**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. С. А. Лукашевич, ст. преподаватель

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ

Для методики преподавания важно нахождение общих принципов обучения, на них и формируются типичные требования к учебной

работе преподавателя, и соответственно стремление учащихся к познавательной деятельности. Следовательно, методика преподавания и определяется как отдельная наука, которая изучает цели преподавания, их содержание, методы и соответствующие средства обучения. Касательно информатики, то для нее характерно то, что она изучает различные виды информационных процессов или технологий. Данные информационные процессы, новые технологии и представляют предмет информатики [1].

Нужно отметить, что преподавание информатики и ее методика это есть раздел педагогики: а) предметом, который является целью преподавания информатики в средней школе; б) предметом исследования является построение, внедрение, анализ, проектирование и разработка методических приемов преподавания информатики в средней школе.

Соответственно тогда, можно дать следующую формулировку методике преподавания информатики – это наука, исследующая информатику как учебный предмет и корректность всего процесса преподавания информатики ученикам различных возрастов. Методика преподавания и само преподавание информатики опирается в своих разработках и выводах на такие науки как педагогика, математика, физика, философия, логика, информатика, психология. Методика обучения информатике занимается исследованием и разработкой в соответствии с целями и содержанием обучения учебно-методического, технического, программного, психолого-педагогического и организационного обеспечения использования современных компьютерных технологий в учебной работе.

Изучая преподавание информатики и ее методику как науку возможно увидеть ее взаимосвязь с многими компонентами всего образовательного процесса, соответственно которые являются совокупностью предметов исследования и изучения. Основными компонентами становятся:

- действие учителя как педагога;
- образовательная деятельность учащихся;
- создание практических навыков.

Как наука и учебная дисциплина, сама информатика стремительно развивается и в этом есть отличительная черта преподавания информатики и ее методики. По этой причине нужно все время улучшать содержание образования, учитывая современное развитие науки и техники.

Общая методика обучения информатике взаимосвязана почти с каждой наукой, и об этом свидетельствует глобальная информатизация многих ветвей человеческой деятельности, а также проникновение информатики во многие другие науки. Так же предметом изучения методики обучения информатике являются не только методы и понятия информатики, содержание, структура и специфика которых учитываются «по определению», но и науки, которые в итоге будут в той или иной степени интегрированы с самой информатикой.

## Литература

1. Кузнецов, А. А. Общая методика обучения информатике. I часть: учебное пособие для студентов педагогических вузов / А. А. Кузнецов, Т. Б. Захарова, А. С. Захаров – М.: Прометей, 2016. – 300 с.

**А. Г. Понятовская**  
(ОмГТУ, Омск)

Науч. рук. **О. В. Батенькина**, канд. техн. наук, доцент

### **ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ WEBVR ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО ФИЗИКЕ**

Физика одна из самых сложных и важных учебных дисциплин, которая является фундаментальной основой для изучения других практических наук при подготовке студентов технических специальностей. Для успешного изучения физики необходимо освоить не только большой объем теоретического материала, но и уметь использовать эти знания на практике. Стоит заметить, что текстовые материалы довольно сложно воспринимаются студентами и являются недостаточно наглядными и информативными для того, чтобы всецело освоить такую науку, как физика. Поэтому, для полного понимания материала обязательно необходимы такие виды занятий, как практические и лабораторные. Однако, опыт последних лет при пандемии и переход на дистанционные или гибридные формы обучения показал необходимость создания виртуальных лабораторных практикумов.

Актуальность разработки виртуального лабораторного комплекса состоит в том, что, во-первых, применение VR-технологий может со-

кратить затраты на оборудование для лабораторных занятий, во-вторых, такие технологии делают процесс более наглядным и понятным, и тем самым, повышают эффективность занятий, и в-третьих, использование данных технологий предоставляет доступ к знаниям вне зависимости от местоположения студента.

Виртуальный лабораторный практикум – информационная система, которая способна имитировать учебные лабораторные эксперименты. Их использование дает возможность результативно решать важные дидактические задачи: интеграцию теоретической и практической подготовки студента, экспериментальную проверку расчетов и формул, поиск закономерностей и т.д. Виртуальные лабораторные практикумы позволяют осуществлять контроль теоретических познаний обучающихся, вести базы данных, включающие результаты реальных лабораторных работ [1].

На основе только одного VR-комплекса возможно осуществление всех разновидностей лабораторных работ по всем изучаемым разделам: механике, динамике, оптике, и другим [2].

Одной из перспективных технологий виртуальной реальности является WebVR. Данная технология представляет собой экспериментальный браузерный JavaScript API для доступа к различным устройствам виртуальной реальности. Основной целью служит облегчение доступа к качественному опыту использования VR вне зависимости от устройства [3].

Использование WebVR при выполнении лабораторных работ может осуществляться в двух формах:

1. Неиммерсивная форма - без полного погружения в среду, в таком случае нет необходимости в специальной гарнитуре, достаточно экрана компьютера или смартфона.

2. Иммерсивная форма - происходит полное погружение в виртуальную среду. Здесь можно использовать различную гарнитуру – от достаточно бюджетных вариантов, например, Google Cardboard до более продвинутых Oculus Rift или HTC VIVE [4].

Используя технологию WebVR, можно создавать реалистичные виртуальные аудитории, в которых студенты смогут объединяться в группы для выполнения лабораторных работ, передавать друг другу информацию, сопровождая все это общением с преподавателем через голосовой чат.

Основными преимуществами использования VR-технологий на лабораторных занятиях являются:

1. Экономия времени. При выполнении виртуальных лабораторных работ, значительно сокращаются временные затраты, т.к. преподавателю нет необходимости подготавливать оборудование перед началом занятия, а студентам не приходится тратить время и усилия на то, чтобы собрать необходимую установку.

2. Сохранение прогресса. Бывают случаи, когда студенту все-таки не хватило времени на окончание работы при использовании обычного оборудования, тогда на следующем занятии приходится выполнять все заново, что приводит к еще большей потере времени. В случае с виртуальными лабораторными работами, такой проблемы не возникает, так как студент может остановить и сохранить процесс выполнения. Далее он может продолжить свою работу на следующем занятии, либо при подготовке к любому виду проверки, вернуться и повторить пройденный материал.

3. Безопасность. При выполнении обычных лабораторных работ не исключены какие-либо повреждения оборудования или травмы обучающегося, если он недостаточно четко выполнял требования техники безопасности. При использовании VR-технологий такие риски сводятся к минимуму.

4. Сосредоточенность. В виртуальной среде обучающийся может полностью сконцентрироваться на работе и успешнее выполнять ее.

5. Контроль выполнения работы. Преподаватель может отслеживать правильность выполнения задания на любом этапе и при необходимости внести изменения в ход работы. Тогда студенты не боятся совершать ошибки, иногда наоборот – намеренно допускают их, и смотря на полученный результат делают выводы [5].

Из всего вышеописанного можно сделать вывод, что в образовании особенно необходимо внедрять VR-технологии для понимания технических наук, где погружение в среду важно для понимания многих процессов. С помощью технологии WebVR реально вывести процесс обучения на новый уровень: сделать знания доступными вне зависимости от местоположения и наличия виртуального шлема или гарнитуры, вместе с этим развить интерес к физике через геймификацию обучения и упростить для понимания многие сложные процессы или явления.

## Литература

1. Елесин, С. С. Виртуальная реальность в образовании: сомнения и надежды [Электронный ресурс] / С. С. Елесин, А. В. Фещенко // Гуманитарная информатика, 2016. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/virtualnaya-realnost-v-obrazovanii-somneniya-i-nadezhdy>. – Дата доступа: 20.03.2022.
2. Иванов, А. В. Технологии виртуальной и дополненной реальности : возможности и препятствия применения [Электронный ресурс] / А. В. Иванов // Стратегические решения и риск-менеджмент, 2018. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-virtualnoy-i-dopolnennoy-realnosti-vozmozhnosti-i-prepyatatviya-primeneniya>. – Дата доступа: 21.03.2022.
3. Baruah, R. Building VR for the Web with A-Frame / R., Baruah // AR and VR Using the WebXR API. – Apress, Berkeley, CA, 2021. – PP. 253–287.
4. Карташевский, И. В. VR-технологии в онлайн-обучении / И. В. Карташевский, В. С. Байдаков // IX Российская научно-методическая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов : МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ, Самара, 05–08 апреля 2021 года. – Самара : Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2021. – С. 73.
5. Кузнецов, В. А. Об использовании виртуальной и дополненной реальности [Электронный ресурс] / В. А. Кузнецов, Ю. Г. Руссу, В. П. Куприяновский // International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – №4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-ispolzovanii-virtualnoy-i-dopolnennoy-realnosti>. – Дата доступа: 24.03.2022.

**Н. А. Рашкевич**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **С. В. Шалупаев**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ПЕРВОГО ЗАКОНА НЬЮТОНА В МЕХАНИКЕ

Начало изучения механики было положено в трудах Аристотеля (384–322 г. до н.э.). Аристотель уверял, что «движется только движи-

мое» или «без сил нет движения», это понимается следующим образом: движение допустимо только тогда, когда к телу приложена сила. Именно такая позиция осмысления характерна для человека, который не особо разбирается в научных представлениях о движении. Таким образом все это видит и ученик, который только начинает изучать механику. Это ожидаемо, так как эти выводы Аристотеля пересекаются с жизненным опытом. Этим и толкуется тот факт, что ложные положения Аристотеля оставались незыблемыми около 2-х тысячелетий. Желательно продемонстрировать младшему поколению, что их представление до изучения механики, ошибочны и доказательство этому эксперименты Галилео Галилея. Он один из первых начал использовать экспериментальный метод изучения в науке. Галилей рассматривал движение тел под определенным углом относительно горизонта (на этом моменте желательно рассказать ученикам об этом опыте более подробно) и на основании представленных опытов выдвинул предположение: «естественное» состояние тела (состояние без взаимодействия с другими телами) есть равномерно и прямолинейное движение, а не покой, как предполагал Аристотель. Покой с этих позиций выглядит как частный случай равномерного и прямолинейного движения. Спустя время эти выводы Галилея были сформулированы Ньютоном в виде закона и стали основой в классической механике [1–3].

Формируя научное мировоззрение учащихся, надо отметить, что Аристотель утверждал – главная средство изучения природы – мышление, его помощник – наблюдение. Галилей привнес экспериментальный метод, а Ньютон – математический метод. Это был переворот в науке.

Вместе с тем надо отметить, что формирование понятия инерции, основывающееся на понятии взаимодействия тел (а не путем отвлечения от взаимодействия), в большей мере соответствует современным представлениям о природе инерциальных свойств тел, по которым эти свойства обусловлены действием гравитационного фона, т.е. суммарного поля тяготения, создаваемого всеми телами нашей части Вселенной.

Характеризуя значение принципа эквивалентности, положенного им в основу общей теории относительности, Эйнштейн отмечает: «... существенно лишь то, что механические свойства материй в любой момент времени по желанию сводить либо к тяготению, либо к инерции. На мой взгляд, инерция представляет собой усредненное взаимодействие между телами Вселенной».

И наконец еще одна важная дидактическая задача – показать самостоятельность 1-го закона в механике и его определяющую роль. Не было бы 1, не было бы 2 и 3 законов. Особое значение 1-го закона состоит в определении пространства (СО), для которого справедлива механика Ньютона. Иногда учащиеся говорят, что 1-й есть следствие 2-го. Т.к. если  $\vec{F}=0$ , то и  $\vec{a}=0$  и, следовательно,  $\vec{u}=\text{const}$ , либо  $\vec{u}=0$ . Но это лишь свидетельствует о тесной связи законов Ньютона. Тела в различных точках СО должны иметь постоянный темп хода. Если это не так, то нельзя ввести единое время и не имеет смысла не только 2-й закон Ньютона, но и теряют смысл величины кинематики. В принципе, можно убедиться в пригодности СО путем тщательного изучения поведения масштабов и часов в ней, причем необходимо охватить проверкой всё пространство и провести ее с большой точностью. Лишь после этого можно писать  $\vec{F}=m\vec{a}$ . Однако провести эту проверку практически невозможно и поэтому нужно выбрать СО с помощью первого закона Ньютона – надо взять пробное тело и поместить далеко от других тел и обнаружить, что оно движется прямолинейно и равномерно, следовательно СО является инерциальной.

Поэтому закон Ньютона – независимый закон, выражающий критерий пригодности СО, Земля недостаточно точно соответствует инерциальной системе отсчета (маятник Фуко). Наиболее приемлема в качестве инерциальной системы отсчета связанная с неподвижными звездами.

## Литература

1. Теория и методика обучения физике в школе : Частные вопросы : учеб. пособие для студ. пед. вузов / С. Е. Каменецкий [и др.] ; под ред. С. Е. Каменецкого. – М. : Издательский центр «Академия», 2000. – 384 с.
2. Голин, Г. М. Вопросы методологии физики в средней школе / Г. М. Голин. – М. : Просвещение, 1987. – 127 с.
3. Малафеев, Р. И. Проблемное обучение физике в средней школе : кн. для учителя / Р. И. Малафеев. – 2-е изд., дораб. – М. : Просвещение, 1993. – 188 с.

**К. И. Филипенко**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)  
Науч. рук. С. А. Лукашевич, ст. преподаватель

## **ВАЖНОСТЬ СОСТАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ КОНСПЕКТОВ УРОКОВ В ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИКИ**

Основные сферы деятельности выпускников, обучавшихся по специальности «Физика» (научно-педагогическая деятельность) в основном – это преподавание физики и информатики в школах.

Преподавателю физики дается задача помочь учащимся осознать и понимать уникальность, универсальность и важность законов физики, развить потребность в исследовательской, самостоятельной и творческой деятельности при изучении физики и вооружить необходимым методическим материалом. От образования на сегодняшний день требуется гораздо больше, чем вчера [1, 2].

План-конспект урока – это основа деятельности преподавателя. Чем качественнее, подробнее и более развернуто план конспект будет составлен преподавателем, тем лучше он будет помогать проводить и объяснять тему урока. И по итогу урок для учащихся достигнет максимальной результативности, сэкономит время, затраченное преподавателем на объяснение материала урока, и позволит быстрее достичь целей, поставленных на уроке.

Существуют различные виды и формы урока:

- урок применения знаний и умений на практике;
- урок обобщения и систематизации знаний;
- урок проверки и коррекции знаний и умений;
- урок ознакомления с новым материалом;
- урок закрепление изученного материала;
- контрольный урок;
- интегрированный урок.

На составление конспекта и содержание урока влияет тип урока, цель урока, тема урока, уровень знаний учащихся, задачи урока, учебное оборудование, вид и форма урока.

Если преподаватель будет делать конспект урока и не учитывать вышеперечисленные факты, влияющие на содержание урока, то учащиеся могут не усвоить материал. Допустим, если форма урока будет проверки и коррекции знаний и умений или контрольный урок (решение физических задач, самостоятельная работа, контрольная работа), то если преподаватель подготовит конспект урока некачественно,

например материал будет составлен слишком сложным для понимания учащихся из-за чего они не справятся с поставленной задачей, или материал урока будет составлен слишком легким, из-за чего учащиеся решат задачи не прилагая усилий, что приведет к необъективному оцениванию уровня знаний учащихся. Также если форма урока будет ознакомление с новым материалом при некачественном конспекте урока, учащимся будет сложно понять материал урока.

Поэтому для увеличения активности, успеваемости, легкости усвоения материала и объективному контролю уровня знаний учащихся, учителю нужно составлять качественные конспекты уроков и соответственно хорошо владеть ими, что упростит проведение уроков учителем, а учащимся поможет в понимании, освоении и закреплении знаний по физике.

### **Литература**

1. Ерофеева, Н. И. Управление проектами в образовании / Н. И. Ерофеева // Народное образование. – 2012. – № 5. – С. 94.
2. Каган, М. С. Человеческая деятельность / М. С. Каган. – М. : Политиздат, 1974. – 103 с.

**Г. Хайруллаева**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. Н. Годлевская**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### **АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЗАДАЧ И ИХ РЕШЕНИЕ КАК ВАЖНЫЙ ЭТАП СИСТЕМАТИЗАЦИИ И ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЗНАНИЙ**

Важной составляющей эффективного образовательного процесса является интерактивная деятельность учащихся и учителя, осуществляемая на основе актуальных в образовании системно-деятельностного, практико-ориентированного и компетентностного подходов. Изучить сущность этих подходов и применить их при проектировании уроков по разделу «Электростатика» и апробации разработок автору представилась возможность во время педагогической практики в ГУО «Гимназия № 14 г. Гомеля». В соответствии с календарно-тематическим планированием образовательного процесса в десятом классе были разработаны урок закрепления изученного матери-

ала «Решение задач по теме «Электроёмкость. Электроёмкость плоского конденсатора», урок изучения и закрепления учебного материала «Энергия электростатического поля конденсатора», а также урок «Обобщение и систематизация знаний по электростатике», целями которого, кроме заявленных в названии темы, было выявление уровня овладения учащимися системой знаний и умений и подготовка к контрольной работе по разделу «Электростатика».

На всех уроках, кроме контрольной работы, важным был этап входного контроля: выявлялась степень усвоения изученного материала и готовность учащихся к его практическому применению и усвоению новых знаний. При ответе на заданные вопросы от учащихся требовалась точная трактовка физического смысла понятий, формулировка законов электростатики, понимание границ их применимости, воспроизведение алгоритма рассуждений при выявлении свойств последовательно и параллельно соединенных конденсаторов и применении этих свойств для расчёта эквивалентной электрической ёмкости применительно к смешанному соединению конденсаторов.

На уроках решения задач мы ставили целью создать условия для отработки навыков решения расчётных задач с учётом свойств электростатических цепей; способствовать развитию у учащихся познавательного интереса к изучению физики, способности к анализу, сравнению, систематизации информации, умения логически мыслить, делать выводы на основе имеющейся информации. Для достижения этой цели учащимся предлагались задачи различного содержания и сложности, а выполнению математических выкладок предшествовали анализ условия задачи (при необходимости его дополняли или уточняли) и составление физически обоснованного плана поиска ответа на поставленный в ней вопрос. Например, в последнее предложение задачи 1079 из [1] добавлены слова, выделенные курсивом: «Проводник, электроёмкость которого  $C_1 = 1,0$  мкФ, заряжен до потенциала  $\varphi_1 = 6,0$  кВ, а проводник электроёмкостью  $C_2 = 2,0$  мкФ – до потенциала  $\varphi_2 = 12$  кВ. Расстояние между проводниками велико по сравнению с их размерами. Какое количество теплоты  $Q$  выделится при соединении этих проводников *короткой тонкой* проволокой?». В ходе анализа условия учащимся были заданы вопросы: Как соединены проводники после их соединения? Какое значение имеет указание на то, что проводники соединены короткой тонкой проволокой? Каков потенциал проводников после их соединения? Почему при соединении проводников выделилось некоторое количество теплоты? По каким причинам изменилась энергия системы проводников?

До планирования решения задачи от учащихся требовали вычерчивания чертежа и выбора рационального способа решения. Так, при решении задачи 1115 из [1]: «Между вертикальными обкладками плоского воздушного конденсатора на тонкой легкой шелковой нити подвешен маленький шарик с зарядом  $q = 30 \text{ нКл}$ . Какой заряд  $q_1$  нужно сообщить конденсатору, чтобы нить отклонилась от вертикали на угол  $\alpha = 45^\circ$ ? Масса шарика  $m = 4,0 \text{ г}$ , площадь каждой обкладки конденсатора  $S = 3,1 \text{ дм}^2$ » – было полезно заметить равенство модулей силы тяжести и силы электростатического взаимодействия.

На уроке обобщения и систематизация знаний по электростатике больше внимания уделялось решению комбинированных задач с применением знаний из различных разделов курса физики. В частности, учащимся была предложена задача следующего содержания: «На двух одинаковых каплях масла радиусом  $r = r_1 = r_2 = 0,40 \text{ мм}$  находятся одинаковые заряды. Определите величину зарядов  $q$ , если сила кулоновского отталкивания уравнивает силу гравитационного притяжения капель. Расстояние между каплями значительно больше их линейных размеров». На этапе анализа учащиеся должны были ответить на вопросы: Какое значение имеет последнее предложение в условии? Как взаимодействуют точечные заряды в описанной ситуации? Какой закон физики нужно знать для определения силы электростатического взаимодействия капель? Почему одноименно заряженные капли не разлетаются? Какой закон нужно знать для определения силы взаимного притяжения капель? Каковы модули и направления сил, соответствующих разным взаимодействиям? Для чего потребуются использовать значения радиусов капель?

Полезными оказались анализ и решение задач, в условии которых описано несколько ситуаций, например, такой: «Плоский конденсатор с диэлектриком, ёмкость которого  $C_0 = 6 \text{ мкФ}$ , заряжен до напряжения  $U_0 = 200 \text{ В}$  и отключен от источника. Какую работу  $A$  надо совершить, чтобы удалить из конденсатора диэлектрик? Диэлектрическая проницаемость диэлектрика  $\epsilon = 3$ , силой трения пренебречь». Учащиеся, анализируя условие, отвечали на следующие вопросы: Чем отличаются рассматриваемые в задаче ситуации? Какая физическая величина не изменится у конденсатора после его отключения от источника? Какая характеристика конденсатора изменится после удаления диэлектрика? Во сколько раз? Как определить работу, необходимую для удаления диэлектрика? В каком виде удобно при решении задачи записывать формулу энергии конденсатора?

После актуализации основных соотношений на этапе входного контроля и подробного анализа условий аналитическое решение задач уже не представляло трудности для учащихся, и они могли самостоятельно его выполнить. В целях контроля над ходом решения и предотвращения возможных вычислительных ошибок один из учащихся работал у доски, а другие корректировали его действия. При апробации разработок иногда возникала необходимость изменять формулировку вопросов в целях получения требуемого ответа. Заблаговременная вариативная формулировка вопросов оказалась полезной – автор чувствовала себя уверенно и свободно при общении с учащимися, а анализируя результаты контрольной работы (более 50 % отметок не ниже 7 баллов и отсутствие неудовлетворительных отметок), была удовлетворена результатами своего труда.

Приобретённый опыт организации системного повторения и закрепления материала, анализа и планирования решения задач будет использован при подготовке дипломной работы и в самостоятельной педагогической работе после окончания вуза.

## Литература

1. Капельян, С. Н. Сборник задач по физике. 9 – 11 классы : пособие для учащихся учреждений общ, сред, образования с рус. яз. обучения / С. Н. Капельян, Л. А. Аксенович, К. С. Фарино. – 3-е изд. – Минск : Аверсэв, 2018. – 480 с.

**А. В. Чернова**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **С. В. Шалупаев**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИКЕ

Важным этапом в рассмотрении механического движения является введение понятий механической работы, кинетической и потенциальной энергий. Основная задача учителя найти наиболее оптимальный и физически строгий способ подачи информации.

При изучении механики в средней школе рассматриваются различные пути формирования понятий работы (А) и энергии (Е) [1–3].

Первоначально дается формальное определение работы как величины равной:

$$A = FS\cos\alpha, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – угол между векторами скорости и перемещения

Развивая представление о работе и энергии, можно построить методику, которая будет легко доступна учащимся. Например, введем понятия кинетической энергии как величины изменение, которое равно механической работе при кинематическом рассмотрении торможения движущихся тел.

$$\frac{m\vartheta^2}{2} = Fs, \quad (2)$$

То есть чтобы тело изменило энергию, оно должно иметь ускорение. Потенциальную энергию рассматривают как «запас», для того чтобы механическая энергия сохранялась и была способна к превращениям. Однако, это кажется несколько непонятным и искусственным.

Еще одним методом является определение энергий, которые вводят независимо от работы, при этом последовательно раскрывают связь между ними.

$$\frac{m\vartheta^2}{2} + mgh = const, \quad (3)$$

Вначале находят сохраняющуюся в механических процессах величины (3), то есть сумму кинетической и потенциальной энергий. А после вводят работу как изменение кинетической энергии (2).

$$A = \Delta \frac{m\vartheta^2}{2} = \Delta E, \quad (4)$$

Недостатком этого метода является то, что учащимся приходится следить за сохранением величины, физический смысл которой выясняется в самом конце цепочки рассуждений.

Возможен и другой более логичный подход к изучению  $A$  и  $E$ . Например, рассмотрим свободное падение тела с использованием кинематических соотношений (рисунок 1). Закон сохранения энергии – это первый интеграл уравнения движения. Кинематические соотно-

шения, являются следствием второго закона Ньютона и выводятся в школе путем неявного интегрирования с помощью представления перемещения, как площади, ограниченной осями координат и зависимостью скорости от времени. То есть такая методика вполне доступна учащимся средней школы.

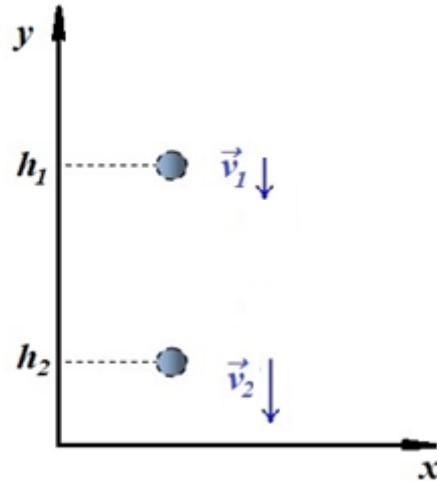


Рисунок 1 – Геометрическая постановка задачи

Как известно, векторные кинематические уравнения, описывающие движение материальной точки вблизи поверхности Земли имеют следующий вид:

$$\vec{\vartheta} = \vec{\vartheta}_0 + \vec{g}t, \quad (5)$$

$$\vec{s} = \vec{\vartheta}_0 t + \frac{\vec{g}t^2}{2}, \quad (6)$$

После проецирования этих двух уравнений на ось Oy получим

$$-\vartheta_2 = -\vartheta_1 - gt, \quad (7)$$

$$h_2 = h_1 - \vartheta_1 t - \frac{gt^2}{2}, \quad (8)$$

Учитывая, что

$$t = (\vartheta_2 - \vartheta_1)/g, \quad (9)$$

Второе уравнение перепишем в виде

$$h_2 = h_1 - v_1 \frac{(v_2 - v_1)}{g} - \frac{g(v_2 - v_1)^2}{2}, \quad (10)$$

Перегруппировав это уравнение и умножая его на  $m$  получим набор следующих соотношений:

$$\Delta E = -(mgh_2 - mgh_1) = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = mgS = FS, \quad (11)$$

В данном подходе сразу видны все особенности понятий энергии и работы. Автоматически проявляется, что  $A = FS$  является мерой изменения кинетической и потенциальной энергий. А также сразу получен закон сохранения полной механической энергии.

$$mgh_1 + \frac{mv_1^2}{2} = mgh_2 + \frac{mv_2^2}{2} = E_{\text{полная механическая}} = \text{const.} \quad (12)$$

Таким образом, методика изучения закона сохранения полной механической энергии может быть весьма разнообразна. Абсолютно каждый метод возможен в использовании. Однако проблематика правильного восприятия учащимися средней школы этого закон в полной форме, может быть учтена при одновременном введении понятий работы, кинетической и потенциальной энергий.

## Литература

1. Теория и методика обучения физике в школе : частные вопросы : учеб. пособие для студ. пед. вузов / С. Е. Каменецкий [и др.] ; под ред. С. Е. Каменецкого. – М. : Издательский центр «Академия», 2000. – 384 с.
2. Голин, Г. М. Вопросы методологии физики в средней школе / Г. М. Голин. – М. : Просвещение, 1987. – 127 с.
3. Малафеев, Р. И. Проблемное обучение физике в средней школе : кн. для учителя / Р. И. Малафеев. – 2-е изд., дораб. – М. : Просвещение, 1993. – 188 с.

# Содержание

Для перехода к тексту материалов перейдите по гиперссылке на соответствующем докладе

## Секция 1 «Новые материалы и технологии»

<b>Аксамит А. А., Божко В. И., Ковалевский Ю. С.</b> Составы и технология композиционных материалов на основе термопластов для функциональных покрытий с повышенными параметрами триботехнических и адгезионных характеристик.....	10
<b>Алифировец Н. Н., Корольков А. С.</b> Исследования содержания объемной доли воды в синтетическом моторном масле марки Нафтан Премьер 5W-40.....	13
<b>Астапкин А. С.</b> Упаковочные полимерные ленты: технологические аспекты производства.....	16
<b>Астапченко А. А.</b> Компас 3D для решения задач по начертательной геометрии.....	19
<b>Астапченко А. А.</b> Композиционные материалы для защитных покрытий.....	22
<b>Бердиев А. Г.</b> Оптические покрытия на основе оксидов.....	25
<b>Будько А. В., Вильчик А. Д., Бакун Т. О.</b> Использование методов компьютерного моделирования и технологий аддитивного производства при создании технических средств, обеспечивающих сохранность транспортируемых объектов.....	28
<b>Вань Сюеминь, Клочко П. В., Нахват Д. В.</b> Конструкция отечественного инжектора специального назначения из нанокomпозиционных полимерных материалов, содержащих хитиновые волокна.....	31
<b>Гайдук В. В., Илькевич О. Я.</b> Смазочные материалы с фтор-компонентами для транспортной техники.....	34
<b>Головач И. М.</b> Разработка методики синтеза и изучение характеристик защитных силикатных золь-гель покрытий, содержащих диоксид титана и графена.....	36
<b>Громов И. Н.</b> Электрические свойства гибридных пленок из углеродных и неорганических нанотрубок.....	38
<b>Гулинский А. С., Попрукайло А. В., Лесун А. Н.</b> Составы и технология нанокomпозитов на основе пластичных смазок для трибоузлов карданных валов.....	41

<b>Данильченко К. Д., Цыкунов К. А.</b> Синтез ZnO:Mg-пленок золь-гель методом.....	44
<b>Демиденко Н. Е.</b> Синтез и исследование свойств гидрофильных золь-гель покрытий.....	46
<b>Демьянчик А. И., Корольков А. С., Алифировец Н. Н.</b> Исследования содержания механических примесей в моторных маслах марки Нафтан.....	49
<b>Демьянчик А. И., Алифировец Н. Н.</b> Исследования изменения температуры вспышки в открытом тигле в моторных маслах марки Нафтан.....	52
<b>Довнар А. В.</b> Исследование столбчатых наноструктур на основе оксида цинка.....	55
<b>Ефимчик К. В.</b> Многофункциональные композиционные материалы на основе геомодифицированных полиолефинов для изготовления элементов дорожных настилов в целях перемещения личного состава и техники.....	58
<b>Карпач П. В.</b> Экспериментальные и расчетные спектры электронного поглощения фотохромного диарилэтена.....	61
<b>Коваленко М. А.</b> Термостимулированные токи в наноконпозициях на основе полилактида.....	64
<b>Корольков А. С., Сафроненко Е. Д.</b> Исследование изменения щелочного числа синтетического моторного масла марки Нафтан Премьер SAE 5W-40.....	66
<b>Корольков А. С., Кот А. Р., Алифировец Н. Н.</b> Исследование изменения щелочного числа синтетического моторного масла марки Лукойл Люкс SAE 5W-40, используемого в бензиновых двигателях внутреннего сгорания.....	69
<b>Кот А. Р., Корольков А. С., Криштова К. С.</b> Исследование кинематической вязкости синтетического моторного масла марки Лукойл Люкс SAE 5W-40.....	72
<b>Кот А. Р., Корольков А. С.</b> Исследование кинематической вязкости синтетического моторного масла марки Нафтан Премьер SAE 5W-40.....	75
<b>Криштова К. С., Корольков А. С.</b> Исследование изменения кинематической вязкости синтетического моторного масла марки Лукойл Люкс SAE 5W-40.....	78
<b>Криштова К. С., Корольков А. С., Алифировец Н. Н.</b> Исследование изменения кинематической вязкости синтетического моторного масла марки Нафтан Премьер SAE 5W-40.....	81

<b>Куницкий М. В., Алифировец Н. Н., Корольков А. С.</b> Исследования содержания объемной доли воды в синтетических моторных маслах марки Лукойл.....	84
<b>Куницкий М. В., Корольков А. С., Сафроненко Е. Д.</b> Исследования содержания механических примесей в синтетических моторных маслах марки Лукойл.....	87
<b>Лещик М. С., Тарасевич С. Т., Мискевич А. А.</b> Характеристики наночастиц, синтезированных методом импульсной лазерной абляции молибдена в водной среде.....	90
<b>Малык Н. Н.</b> Износоусталостное повреждение в технике и его особенности.....	93
<b>Нахват Д. В., Аксамит А. А., Божко В. И.</b> Диффузионные технологии функциональных нанокompозитов на основе промышленных термопластов для изделий с повышенными параметрами эксплуатационных характеристик.....	96
<b>Никифорова Е. А.</b> Разработка методик контроля деградации тока-стока МОП транзисторов под влиянием горячих носителей	99
<b>Пискунова Е. Д.</b> Связь биомеханики академической гребли и продолжительности эксплуатации гребного инвентаря.....	102
<b>Пузан Н. В.</b> Влияние параметров процесса на время деформации при плакировании обратным выдавливанием.....	104
<b>Сазанков А. П.</b> Влияние влаги на механические свойства стеклопластиков на примере двух- и трехкомпонентных ламинатов..	107
<b>Самосюк Я. А.</b> Фотопроводимость квантово-размерных структур CdSe.....	111
<b>Сафроненко Е. Д.</b> Исследования изменения температуры вспышки в открытом тигле в моторных маслах марки Лукойл...	114
<b>Саховский К. А.</b> Влияние параметров импульса разряда на скорость осаждения покрытий.....	117
<b>Сомов П. В.</b> Метаматериалы на основе двойных спиралей с применением методов 3D-печати.....	120
<b>Тарасевич С. Т., Лещик М. С.</b> Исследование выхода металла по току из электролитов с добавкой наночастиц, синтезированных на основе технологий, использующих плазменное состояние вещества.....	123
<b>Тарасевич С. Т., Лещик М. С., Гончаров А. С.</b> Влияние параметров лазерного излучения на размерные характеристики продуктов импульсной лазерной абляции молибдена в этаноле..	126
<b>Тихон О. И., Кондратьева В. А.</b> Влияние мощности электропитания СВЧ магнетрона на нагрев кремниевых пластин.....	130

<b>Томкович Н. В.</b> Определение параметров плазмы несамостоятельного разряда при атмосферном давлении в смеси $\text{CO}_2$ и $\text{CH}_4$	132
<b>Тусов В. И., Шкандратова А. С.</b> Разработка ионнообменного метода получения концентрированных ультрадисперсных коллоидных композиций на основе наноразмерных частиц $\text{SiO}_2$ .....	134
<b>Фурсеев П. А.</b> Исследование электрофизических свойств графеносодержащих золь-гель покрытий.....	136
<b>Швецов Д. В., Анучин С. Н.</b> Исследование характеристик наночастиц цветных металлов.....	139
<b>Шклярова А. Н., Стародубцева М. Н.</b> Биомеханические параметры поверхности клеток рака молочной железы, оцениваемые по данным атомно-силовой микроскопии в режиме Force Volume.....	144

## Секция 2 «Моделирование физических процессов»

<b>Асвинова П. В.</b> Рассеяние на кулоновском потенциале .....	148
<b>Василевич А. С.</b> Приблизительная оценка силы натяжения нити во время рывка.....	152
<b>Гвоздовский Д. Ч.</b> Определение оптических свойств двумерных материалов: <i>ab initio</i> моделирование.....	155
<b>Головин Е. Д.</b> Генерация суммарной частоты в поверхностном слое цилиндрической частицы большой высоты. Приближение ВКБ.....	158
<b>Грибовский И. С.</b> Разработка программного обеспечения для моделирования движения заряженной частицы в электромагнитном поле.....	163
<b>Гришечкина А. А.</b> Нахождение явного вида функций Грина в релятивистском конфигурационном представлении для <i>d</i> -состояний.....	165
<b>Жуковец А. Д.</b> Определение коэффициентов прохождения и отражения для прямоугольного потенциала в случае от $-a$ до $a$	169
<b>Жуковец А. Д.</b> Матричный метод определения коэффициентов прохождения и отражения для прямоугольного потенциала в случае от $0$ до $a$ .....	173
<b>Златина В. Ю.</b> Физические приложения $\delta$ -функции Дирака.....	178
<b>Златина В. Ю.</b> Функция Грина гармонического осциллятора.....	182

<b>Изоитко М. В.</b> Моделирование электродинамических характеристик среды над углеводородами.....	185
<b>Киргинцева С. В.</b> Математическая модель для приближенного расчета перемещений поверхности упругого покрытия на упругом основании.....	189
<b>Климович В. А.</b> Точечное возмущение на линии роста дендрита в переохлажденном расплаве.....	192
<b>Кошара К. А.</b> Моделирование солнечной системы в Blender 3D	196
<b>Куриленко В. Р.</b> Расчет процессов электрон-позитрон аннигиляции с помощью программы Pythia.....	199
<b>Малашков Н. Г.</b> Анализ передаточного отношения цепной передачи с эллипсоидной ведущей звездой.....	202
<b>Маркова М. В.</b> Механико-математическая модель колебаний круговой трёхслойной ступенчатой пластины.....	204
<b>Михалко И. С.</b> Моделирование электрических сил в сечениях двойной ДНК-подобной спирали при высокочастотном резонансе.....	207
<b>Пискунова Е. Д.</b> Визуализация физической модели хеликазы в программе Blender.....	210
<b>Пискунова Е. Д.</b> Моделирование и анализ электрических цепей, аналогичных молекуле ДНК, в программе Micro-Cap.....	214
<b>Ритарева В. В.</b> Моделирование сечения рассеяния альфа-частиц.....	219
<b>Ритарева М. В.</b> Оптимизация вариационного параметра квантовой системы с потенциалом Юкавы.....	223
<b>Сагайдак Д. А.</b> Формулировка задачи оптимизации передачи сообщений с демультимплексированием по двум каналам связи с различными пропускными способностями.....	227
<b>Садовский А. А.</b> Прецизионное определение слабого угла смешивания Вайнберга в экспериментах на электрон-позитронных коллайдерах следующего поколения.....	230
<b>Селиверстов Н. А.</b> Структура изолиний параметров начального состояния носика дендрита в переохлажденном расплаве.....	233
<b>Сундуков Е. А.</b> Моделирование автоматизированной системы контроля за выбросами загрязняющих веществ.....	237
<b>Телеш А. М.</b> Передающая антенна FM диапазона.....	240
<b>Тесёлкин Б. А.</b> Моделирование системы частиц в физическом пространстве.....	243

### Секция 3 «Автоматизация исследований»

<b>Абдрахманов А. Н.</b> Создание парсера для получения данных о новостных сюжетах.....	246
<b>Айбулатов В. А.</b> Автоматизация основных бизнес-процессов компании на основе решений Битрикс24.....	249
<b>Антонов Г. А.</b> Возможности и преимущества платформы .NET...	252
<b>Асвинова П. В.</b> Построение элементов редуктора с помощью графической системы компас на примере детали типа вал.....	254
<b>Бабич Н. С.</b> Работа со сделками и клиентами в CRM-системе для торговой компании.....	257
<b>Багатыревич Е. В., Пудловский А. А.</b> Турнир «AI Cup Battles». Аспекты проведения и программной реализации.....	258
<b>Баль П. М.</b> Использование Arduino Nano для разработки мобильного Bluetooth аудиопроигрывателя.....	261
<b>Бискуб П. С.</b> Разработка дизайна web-сайта «Футбол Беларуси»	264
<b>Бурикин В. Ю., Кончиц А. А.</b> Автоматизация работ по извлечению демографических данных с сайта CDC и занесению их в базу данных.....	265
<b>Буторин А. А.</b> Разработка приложения «Поиск» для устройств на операционной системе iOS.....	268
<b>Быша А. В.</b> Разработка серверной части web-приложения для автоматизации работы ветеринарной клиники.....	270
<b>Васильев П. И.</b> Локализация WPF приложений при помощи словарей ресурсов.....	271
<b>Вишневецкая В. С.</b> Информационная система автоматизации работы администратора в кафе для ООО «Сассин Сквэр».....	273
<b>Волотовский А. Б.</b> Монада дискретной случайной величины.....	274
<b>Галич Ю. Г.</b> Минимизация вероятности потерь в немарковских сетях с очередями путем оптимального распределения объемов буферов.....	277
<b>Галух Н. А.</b> Frontend разработка web-страниц.....	280
<b>Гоголев И. И., Никитюк В. А., Барановский Д. В.</b> 3D-модели в игровой индустрии при использовании программных продуктов Blender и Unity.....	282
<b>Голубич К. С.</b> Актуальность свёрточной нейронной сети.....	285
<b>Гомонов П. А.</b> Разработка базы данных web-приложения «Трейдинговая платформа».....	287

<b>Горицкая Д. А.</b> Разработка информационной системы «Студенческие конференции факультета физики и ИТ».....	288
<b>Гошко Е. В.</b> Разработка системы управления процессом в гетерогенной среде.....	291
<b>Гошко Е. В.</b> Управление средами реализаций плагинов Jenkins...	292
<b>Громько И. И.</b> Разработка UI/UX design в IT продукте.....	293
<b>Губанова А. Д.</b> О разработке мобильного приложения для связи в космическом пространстве.....	295
<b>Дагаров Е. О.</b> Обработка видео с использованием Deep Learning и OpenCV.....	296
<b>Дашкевич П. Ю.</b> Анализ области применения гибридных жёстких дисков.....	299
<b>Джепбаров К. Н.</b> Разработка интернет-магазина «And Shop Electronics».....	301
<b>Доломакин Н. А.</b> Основные методы разработки игр на языке программирования C#.....	302
<b>Домасканов Д. В.</b> Установка и настройка SNMP агента в операционной среде Centos 7.....	305
<b>Еремич А. В.</b> Создание персонажа и события для его перемещения при разработке игры на движке GameMaker: Studio 2.....	306
<b>Ермоленко В. А.</b> Разработка web-системы «Schedule»: подготовка мастер-данных.....	307
<b>Иокша Д. А.</b> Разработка автоматизированной информационной системы по сбору ежемесячной отчётности.....	308
<b>Калинин Р. С.</b> Веб-парсинг с использованием языка Python для сбора данных с целью оценки финансового состояния организации.....	309
<b>Клименко П. В.</b> Компьютерное обнаружение и морфологический анализ нанотрубок с использованием снимков сканирующего электронного микроскопа.....	311
<b>Клочко У. В.</b> Триангуляционный метод проекционного сканирования как основа комбинированной системы ввода трехмерных изображений.....	312
<b>Книга Р. А.</b> Интерактивное обучающее приложение по математике для ГУО «СПЦ Ленинского района города Бобруйска. Детский социальный приют».....	315
<b>Козляк Т. Е.</b> Особенности хранения JWT токена авторизации в web-приложениях.....	317
<b>Колядич И. В.</b> Измеритель параметров конденсаторов большой емкости.....	318

<b>Кравчинская Г. Н.</b> Разработка дизайна web-сайта «Парки Гомеля».....	321
<b>Кузеев М. В.</b> Создание локальной сети в VirtualBox.....	322
<b>Кузеев М. В.</b> Создание локальной сети в VMWare.....	323
<b>Кулинченко Н. В.</b> Разработка программного обеспечения для автоматизации определения дальности работы точки доступа Wi-Fi.....	325
<b>Лапунов Г. А.</b> Использование OrangePi для разработки ботанического лабораторного комплекса.....	326
<b>Лукашевич Н. В.</b> Технология блокчейн.....	328
<b>Лукашевич Н. В.</b> Технология майнинга и оборудование.....	331
<b>Мартыненко-Нестеренко Е. О.</b> Разработка визуального компонента структур баз данных и схем АСУ ТП.....	334
<b>Мартынович К. А.</b> Использование Angular для разработки современных веб-приложений.....	335
<b>Медведь К. В.</b> Основы разработки современных веб-приложений	336
<b>Меньшиков А. В.</b> Результаты разработки подсистемы визуализации статистики радиообследования.....	338
<b>Миладовский Н. А.</b> Разработка web-приложения сбора и анализа статистических данных.....	339
<b>Мирземетов Б. А.</b> Функционал технологий для реализации поиска вариантов аренды жилья .....	340
<b>Мирземетов Б. А.</b> Разработка проекта API для реализации поиска вариантов аренды жилья .....	342
<b>Морза В. С.</b> Разработка интернет-магазина электронной техники	343
<b>Нечай А. Д.</b> Разработка BackEnd части web-приложения по продаже книг с использованием ExpressJS.....	344
<b>Новоженцев П. Е.</b> Разработка веб-приложения на Python с помощью фреймворка Django.....	345
<b>Остапенко А. А.</b> Разработка web-портала спортивной организации.....	347
<b>Пенько А. Н.</b> Разработка проекта мобильного устройства сбора и обработки данных бесконтактных карт с радиоканалом связи...	348
<b>Петруша М. А.</b> Разработка современных web-приложений.....	349
<b>Пимошенко А. С.</b> Программные средства создания мозаики с использованием 3D-принтера на основе бинаризованных изображений.....	352
<b>Писарев Г. Д.</b> Spring: фреймворк для эффективной разработки Enterprise приложений.....	353

<b>Подшиваленко Д. С.</b> Разработка приложения по поиску потерянных домашних животных.....	355
<b>Потеряев И. О.</b> Способы хранения данных при разработке сайтов.....	356
<b>Протченко А. М.</b> Голосовой помощник «Severity» для управления функциями компьютера.....	359
<b>Протченко Р. И.</b> Нейронные сети и язык программирования Python.....	360
<b>Путьков Д. Ю.</b> Принцип работы веб-приложения по отображению Wi-Fi сети.....	363
<b>Путьков Д. Ю.</b> Верификация результатов веб-приложения по контролю формы периметра Wi-Fi сети с другими приложениями	364
<b>Расторгуев В. В.</b> Разработка высоконагруженной распределённой системы на примере сервиса онлайн-школы.....	365
<b>Рыбалкин Д. С.</b> Использование микроконтроллера AVR с датчиком газа для разработки автоматизированной системы безопасности в жилых помещениях.....	366
<b>Самусенко Д. В.</b> Автоматизация продвижения сайта-портфолио	368
<b>Свяцкий И. П.</b> Интерактивный гид по достопримечательностям города Гомеля на платформе Android.....	371
<b>Семененко А. В., Левчук Е. А.</b> Разработка требований и проектирование прототипа приложения.....	372
<b>Семенченя Т. С.</b> Поиск КТ-изображений поясничного отдела позвоночника человека с признаками дегенеративных изменений	375
<b>Сидоренко Д. А.</b> Создание автоматизированной системы учета ремонтов технологического оборудования.....	377
<b>Струков Д. И.</b> Разработка web-приложения с использованием базы данных PostgreSQL.....	378
<b>Сухорукова Е. А.</b> Data Mining и анализ больших данных для повышения эффективности управления образовательными системами.....	382
<b>Сычевой Д. С.</b> Разработка автоматизированной информационной системы по учету заявок в сервисном центре.....	385
<b>Тебенькова К. С.</b> Сайт книжного интернет-магазина.....	386
<b>Угловец И. И.</b> GraphQL: язык запросов для современных веб-приложений.....	387
<b>Храмова Е. А.</b> Анализ процессов подготовки землеустроительной документации с использованием внешних цифровых сервисов.....	389

<b>Худорожкова С. В.</b> Автоматизация деятельности диспетчера «Автобазы здравоохранения» на основе решений «1С».....	392
<b>Чекан Г. В.</b> Разработка чата для приложения обмена книгами «BookSwapping».....	396
<b>Черкас Е. О.</b> Разработка мобильного приложения для декодирования штрихкодов разных типов.....	397
<b>Шарко А. А.</b> Разработка REST API сервера для покупки и продажи автомобилей.....	400
<b>Шихутин В. И., Левчук Е. А.</b> Разработка мобильного приложения обмена сообщениями для операционной системы Android.....	401
<b>Шуляк-Нестеренко А. А., Коваленко А. В.</b> Основные средства производства компьютерных игр.....	403

## **Секция 4 «Методика преподавания физики и информатики. Образовательная робототехника»**

<b>Дегтярёва А. Н., Губба К. В.</b> Учебная ознакомительная практика в профессиональной подготовке педагогов.....	406
<b>Демков Д. И., Демьянцев Д. И.</b> Научный подход при изучении электрического поля в средней школе.....	407
<b>Дубовская В. А.</b> Применение образовательных платформ при изучении физики в средней школе.....	409
<b>Дубовская В. А.</b> Методика изложения второго закона Ньютона	412
<b>Егоров Н. А., Савошко М. В.</b> Наблюдение за деятельностью учителя и обучающихся на уроке физики.....	415
<b>Жулего А. А.</b> Интерактивная модель для учебного web-ресурса по методу молекулярной динамики.....	416
<b>Ишанбердиев Д.</b> Практико-ориентированное изучение силы трения в седьмом классе.....	420
<b>Кляузо А. С.</b> Задачи динамики вращательного движения в лабораторном практикуме на примере системы блоков.....	423
<b>Маркелов А. Д.</b> Использование EasyEDA для разработки проектов радиоэлектронных устройств.....	426
<b>Матякубова М. М.</b> Развитие мышления, систематизация и углубление знаний учащихся при решении задач по гидростатике в девятом классе.....	428

<b>Никитюк В. А., Гоголев И. И., Барановский Д. В.</b> Метамоде- лирование с использованием модуля Ansys Design Exploration...	432
<b>Никитюк В. А., Барановский Д. В., Гоголев И. И.</b> Оптима- ционные расчеты в модуле DesignXplorer программы Ansys Workbench.....	435
<b>Повзик К. В.</b> Разработка методических приемов преподавания информатики.....	437
<b>Понятовская А. Г.</b> Возможности применения технологии WebVR для создания лабораторного практикума по физике.....	439
<b>Рашкевич Н. А.</b> Методика изучения первого закона Ньютона в механике.....	442
<b>Филипенко К. И.</b> Важность составления качественных кон- спектов уроков в преподавании физики.....	445
<b>Хайруллаева Г.</b> Анализ условий задач и их решение как важ- ный этап систематизации и закрепления знаний.....	446
<b>Чернова А. В.</b> Методика изучения закона сохранения энергии в механике.....	449

Научное электронное издание

# **АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ**

XI Республиканская научная конференция  
студентов, магистрантов и аспирантов,  
посвященная 100-летию со дня рождения  
академика Белого Владимира Алексеевича

(Гомель, 21 апреля 2022 года)

Сборник материалов

В двух частях

Часть 1

Подписано к использованию 09.06.2022.

Объем издания 15,4 МБ.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования  
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 3/1452 от 17.04.2017.  
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.  
ул. Советская, 104, 246028, Гомель.

<http://conference.gsu.by>